



Vulnérabilité du territoire: caractérisation et implémentation en gestion de crise

Emmanuel Garbolino, Dalanda Lachtar

► To cite this version:

Emmanuel Garbolino, Dalanda Lachtar. Vulnérabilité du territoire: caractérisation et implémentation en gestion de crise. Chiara Bersani and Roberto Sacile editors. Sécurité des Transports des Marchandises dans l'Eurorégion Alpes-Méditerranéennes, DIST-UNIGE, p. 256-309 - Chapitre 3, 2012. hal-00754475

HAL Id: hal-00754475

<https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00754475>

Submitted on 21 Nov 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

3

VULNERABILITÀ DEL TERRITORIO: CARATTERIZZAZIONE E IMPLEMENTAZIONE NELLA GESTIONE DELLA CRISI

INTRODUZIONE

Questo capitolo ha come obiettivo quello di presentare gli elementi raccolti ed analizzati per valutare la vulnerabilità del territorio che si estende da Nizza a Savona di fronte al rischio d'incidente che coinvolga mezzi che Trasportano Merci Pericolosa (TMP) e delle conseguenze associate. È proposta una definizione della vulnerabilità territoriale a partire da una analisi di modelli e d'indice della vulnerabilità. Il primo punto mira così a definire il concetto di vulnerabilità. Il secondo punto affronta la questione delle diverse soglie di vulnerabilità biofisica caratteristiche degli esposti umani e delle strutture raccolte da enti e

INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de présenter les éléments recueillis et analysés pour évaluer la vulnérabilité du territoire s'étendant de Nice à Savona face au risque d'accident de TMD et des conséquences associées. Une définition de la vulnérabilité territoriale est proposée à partir d'une analyse de modèles et d'indice de vulnérabilité. Le premier point s'attache ainsi à définir le concept de vulnérabilité. Le deuxième point aborde les différents seuils de vulnérabilité biophysique caractéristiques des enjeux humains et des structures recueillis auprès d'organismes et centres de recherche nationaux et internationaux



VULNÉRABILITÉ DU TERRITOIRE: CARACTÉRISATION ET IMPLÉMENTATION EN GESTION DE CRISE

réalisant des études toxicologiques et de résistance des matériaux.

Le troisième point décrit le territoire d'étude, les flux de marchandises dangereuses qui le traversent sur ses axes routiers et présente les éléments considérés comme vulnérables face aux conséquences d'accidents de TMD à proximité des voies d'accès. Enfin, la dernière partie propose une définition de la vulnérabilité territoriale face au risque de TMD sur laquelle s'appuie le modèle général de réduction de la vulnérabilité proposé et qui sous-tend les travaux de recherche et développement présentés dans les chapitres successifs.

centri di ricerca nazionali e internazionali che compiono studi tossicologici e di resistenza dei materiali. Il terzo punto analizza il territorio d'indagine, i flussi di merci pericolose che l'attraversano sui suoi assi stradali e presenta gli elementi considerati come vulnerabili rispetto alle conseguenze di incidenti di TMP nei pressi delle vie di accesso. Infine, l'ultima parte propone una definizione della vulnerabilità territoriale di fronte al rischio del TMP su cui si posa il modello generale di riduzione della vulnerabilità proposta e che sotto intende i lavori di ricerca e sviluppo presentati nei capitoli successivi.

1_ ELEMENTI CHE CARATTERIZZANO LA VULNERABILITÀ DEL TERRITORIO IN CASO DI INCIDENTI DI MERCI PERICOLOSE SU STRADA

Questo capitolo ha come obiettivo quello di presentare gli elementi raccolti ed analizzati per valutare la vulnerabilità del territorio che si estende da Nizza a Savona di fronte al rischio d'incidente che coinvolga mezzi che Trasportano Merci Pericolosa (TMP) e delle conseguenze associate. È proposta una definizione della vulnerabilità territoriale a partire da una analisi di modelli e d'indice della vulnerabilità. Il primo punto mira così a definire il concetto di vulnerabilità.

Il secondo punto affronta la questione delle diverse soglie di vulnerabilità biofisica caratteristiche degli esposti umani e delle strutture raccolte da enti e centri di ricerca nazionali e internazionali che compiono studi tossicologici e di resistenza dei materiali.

Il terzo punto analizza il territorio d'indagine, i flussi di merci pericolose che l'attraversano sui suoi assi stradali e presenta gli elementi considerati come vulnerabili rispetto alle conseguenze di incidenti di TMP nei pressi delle vie di accesso.

Infine, l'ultima parte propone una definizione della vulnerabilità territoriale di fronte al rischio del TMP su cui si posa il modello generale di riduzione della vulnerabilità proposta e che sotto intende i lavori di ricerca e sviluppo presentati nei capitoli successivi.

1_ ÉLÉMENTS DE CARACTÉRISATION DE LA VULNÉRABILITÉ DU TERRITOIRE FACE AUX ACCIDENTS DE TMD SUR ROUTE

Ce chapitre a pour objectif de présenter les éléments recueillis et analysés pour évaluer la vulnérabilité du territoire s'étendant de Nice à Savona face au risque d'accident de TMD et des conséquences associées. Une définition de la vulnérabilité territoriale est proposée à partir d'une analyse de modèles et d'indice de vulnérabilité. Le premier point s'attache ainsi à définir le concept de vulnérabilité.

Le deuxième point aborde les différents seuils de vulnérabilité biophysique caractéristiques des enjeux humains et des structures recueillis auprès d'organismes et centres de recherche nationaux et internationaux réalisant des études toxicologiques et de résistance des matériaux.

Le troisième point décrit le territoire d'étude, les flux de marchandises dangereuses qui le traversent sur ses axes routiers et présente les éléments considérés comme vulnérables face aux conséquences d'accidents de TMD à proximités des voies d'accès.

Enfin, la dernière partie propose une définition de la vulnérabilité territoriale face au risque de TMD sur laquelle s'appuie le modèle général de réduction de la vulnérabilité proposé et qui sous-tend les travaux de recherche et développement présentés dans les chapitres successifs.

2_ LE CONCEPT DE VULNÉRABILITÉ

Le terme « vulnérabilité » est emprunté au latin tardif « vulnerabilis » signifiant « qui peut être blessé », « qui blesse ». Le Trésor de la Langue Française indique aussi que ce terme a pour synonyme « fragilité ». Principalement utilisé dans les sciences médicales et de la nature, le concept de vulnérabilité a été progressivement introduit dans le domaine des risques naturels et technologiques. Il existe ainsi un volume important de publications internationales s'intéressant au concept de vulnérabilité, notamment en géographie et dans les sciences des risques et des dangers.

D'Ercole et Metzger (2009) proposent que « la vulnérabilité territoriale renvoie à l'idée qu'il existe, au sein de tout territoire, des éléments localisables susceptibles d'engendrer et de diffuser leur vulnérabilité à l'ensemble d'un territoire, provoquant des effets qui peuvent perturber, compromettre, voire interrompre son fonctionnement et son développement. Dans cette logique, l'analyse de vulnérabilité territoriale vise prioritairement à identifier, caractériser et hiérarchiser les espaces à partir desquels se crée et se diffuse la vulnérabilité au sein du territoire. Elle permet donc de définir les espaces pour lesquels des actions de prévention des risques auraient une grande efficacité, prenant ainsi le contre-pied des interventions habituelles visant la réduction des risques, le plus souvent ponctuelles et choisies de manière contingentes ». Ces auteurs précisent également que s'intéresser à la vulnérabilité d'un territoire c'est a fortiori prendre en considération la vulnérabilité de ses principaux enjeux, tels que les réseaux de support à la vie, appelés également infrastructures essentielles. Ils proposent ainsi de s'intéresser en priorité à la vulnérabilité des enjeux majeurs car ils constituent les éléments indispensables au fonctionnement du territoire et ce, indépendamment du type d'aléa. Cette posture met donc en avant l'espace social comme objet d'étude.

Cependant, nous pensons qu'il convient de considérer à la fois la vulnérabilité des enjeux et la nature, la fréquence et l'intensité des aléas pour comprendre la vulnérabilité du territoire pris dans son ensemble. Autrement dit, la vulnérabilité du territoire est indissociable de la vulnérabilité d'enjeux majeurs, qui sont le plus souvent dépendants entre eux, aux aléas d'origine variée qu'il convient de connaître car tous les enjeux ne sont pas vulnérables de la même façon aux aléas. Ainsi, il apparaît que l'emploi du terme de vulnérabilité est en fait indissociable

2_ IL CONCETTO DI VULNERABILITÀ

Il termine « vulnerabilità » è un prestito preso dal latino tardo « vulnerabile », termine che significa « che può essere ferito », « che ferisce ». Il Trésor de la Langue Française indica anche che questo termine ha come sinonimo « fragilità ». Usato principalmente nelle scienze mediche e naturalistiche, il concetto di vulnerabilità è stato progressivamente introdotto nel campo dei rischi naturali e tecnologici. C'è anche un numero consistente di pubblicazioni internazionali che si interessano al concetto di vulnerabilità, in particolare in geografia e nelle scienze dei rischi e dei pericoli.

D'Ercole e Metzger (2009) affermano che « la vulnerabilità territoriale rimanda all'idea che vi sono, in ogni territorio, degli elementi localizzabili suscettibili di generare e diffondere la loro vulnerabilità alla totalità di un territorio, provocando degli effetti che possono perturbare, compromettere, vedere interrompere il suo funzionamento e il suo sviluppo. In questa logica, l'analisi della vulnerabilità territoriale mira ad identificare, caratterizzare e gerarchizzare gli spazi a partire dai quali si crea e si diffonde la vulnerabilità all'interno del territorio. Permette quindi di definire gli spazi per i quali delle azioni di prevenzione dei rischi avrebbero una grande efficacia, prendendo così il contro piede degli interventi abituali che mirano alla riduzione dei rischi, la maggior parte delle volte puntuali e selezionati in modo contingentes ». I due autori pongono anche l'accento sul fatto che interessarsi alla vulnerabilità di un territorio vuol dire a fortiori prendere in considerazione la vulnerabilità dei suoi principali esposti, come le reti di supporto alla viabilità, chiamate allo stesso modo infrastrutture essenziali. Propongono così di interessarsi come priorità alla vulnerabilità degli esposti maggiori perché costituiscono gli elementi indispensabili al funzionamento del territorio e ciò indipendentemente dal tipo di rischio. Questa posizione mette quindi in avanti lo spazio sociale come oggetto di studio.

Nonostante ciò, noi pensiamo che convenga considerare allo stesso tempo la vulnerabilità degli esposti e la natura, la frequenza e l'intensità dei rischi per comprendere la vulnerabilità del territorio preso nel suo insieme. In altre parole, la vulnerabilità del territorio è indissolubile da quella degli esposti maggiori, che sono la maggior parte delle volte dipendenti tra loro, ai rischi di varia origine che è meglio conoscere perché non tutti gli esposti sono vulnerabili allo stesso modo ai rischi. Così, sembra che l'uso del termine di vulnerabilità, di fatto è

indissolubile da quello di rischio. A questo riguardo, Nick Brooks (2003) ci ricorda qualche riferimento a proposito della definizione di concetto di rischio (tabella) e, più in particolare, quella presa in prestito a Crichton che fa comparire il termine di vulnerabilità. Nello stesso ordine di idee, l'ISDR (International Strategy for Disaster Reduction) de l'ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite) definisce il rischio in questo modo (<http://www.unisdr.org>) :

« The probability of harmful consequences, or expected losses (deaths, injuries, property, livelihoods, economic activity disrupted or environment damaged) resulting from interactions between natural or human-induced hazards and vulnerable conditions. Conventionally risk is expressed by the notation

Risk = Hazards × Vulnerability.

Some disciplines also include the concept of exposure to refer particularly to the physical aspects of vulnerability. Beyond expressing a possibility of physical harm, it is crucial to recognize that risks are inherent or can be created or exist within social systems. It is important to consider the social contexts in which risks occur and that people therefore do not necessarily share the same perceptions of risk and their underlying causes. »

de celui du concept de risque. A cet égard, Nick Brooks (2003) nous rappelle quelques références concernant la définition du concept de risque (tableau) et plus particulièrement celle empruntée à Crichton qui fait apparaître le terme de vulnérabilité. Dans ce même ordre d'idée, l'ISDR (International Strategy for Disaster Reduction) de l'ONU (Organisation des Nations Unies) définit le risque de la façon suivante (<http://www.unisdr.org>) :

« The probability of harmful consequences, or expected losses (deaths, injuries, property, livelihoods, economic activity disrupted or environment damaged) resulting from interactions between natural or human-induced hazards and vulnerable conditions. Conventionally risk is expressed by the notation

Risk = Hazards × Vulnerability.

Some disciplines also include the concept of exposure to refer particularly to the physical aspects of vulnerability. Beyond expressing a possibility of physical harm, it is crucial to recognize that risks are inherent or can be created or exist within social systems. It is important to consider the social contexts in which risks occur and that people therefore do not necessarily share the same perceptions of risk and their underlying causes. »

Author(s)	Risk definition
Smith, 1996 (p5)	Probability x loss (probability of a specific hazard occurrence) <i>Hazard = potential threat</i>
IPCC, 2001 (p21)	Function of probability and magnitude of different impacts
Morgan and Henrion, 1990 (p1)/Random House, 1966	"Risk involves an 'exposure to a chance injury or loss'"
Adams, 1995 (p8)	"a compound measure combining the probability and magnitude of an adverse affect"
Jones and Boer, 2003; (also Helm, 1996)	Probability x consequence <i>Hazard: an event with the potential to cause harm, e.g. tropical cyclones, droughts, floods, or conditions leading to an outbreak of disease-causing organisms.</i>
Downing et al., 2001	Expected losses (of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period <i>Hazard: a threatening event, or the probability of occurrence of a potentially damaging phenomenon within a given time period and area.</i>
Downing et al., 2001	Probability of hazard occurrence <i>Hazard = potential threat to humans and their welfare</i>
Crichton, 1999	"Risk" is the probability of a loss, and depends on three elements, hazard, vulnerability and exposure."
Stenchion, 1997	"Risk might be defined simply as the probability of occurrence of an undesired event [but might] be better described as the probability of a hazard contributing to a potential disaster...importantly, it involves consideration of vulnerability to the hazard."
UNDHA, 1992	"Expected losses (of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period. Based on mathematical calculations, risk is the product of hazard and vulnerability."

Definizione del concetto di rischio (Brooks, 2003)

Définitions du concept de risque (Brooks, 2003)

En fait, si l'on associe ces définitions de risque avec celles actuellement utilisées par le MEEDDAT, le risque peut être défini comme étant la confrontation d'un aléa avec un enjeu localisés sur un territoire donné et ayant une dynamique propre (<http://www.prim.net>) :

Risque = Aléa × Enjeu

où l'aléa est caractérisé par sa probabilité d'occurrence et son intensité et l'enjeu est caractérisé par sa vulnérabilité et sa résilience face à l'aléa.

Infatti, se si associano queste definizioni di rischio con quelle usate attualmente dal MEEDDAT, il rischio può essere definito come un qualcosa che ha il riscontro di un rischio con un esposto localizzati su un territorio dato e avente una dinamica propria (<http://www.prim.net>) :

Rischio = Aléa × Esposto

Dove il rischio è caratterizzato dalla sua probabilità di occorrenza e la sua intensità e l'esposto è caratterizzato dalla sua vulnerabilità e dalla sua resilienza di fronte al rischio.

Brooks (2003) propone di distinguere due tipi di vulnerabilità per un territorio dato :

- La vulnerabilità biofisica : la sua definizione è legata al livello di danneggiamento degli esposti, sia umani sia materiali. Dipende quindi dall'impatto fisico del rischio sugli esposti, dal punto di vista della sua intensità così come della sua frequenza. Tale vulnerabilità è anche analoga alla « sensibilità » del sistema studiato nei confronti del rischio. L'uso delle soglie degli effetti letali permette, per esempio, di caratterizzarle così ; la vulnerabilità biofisica della popolazione sul un territorio dato ;
- La vulnerabilità sociale : rappresenta la capacità di un sistema di fare fronte ad un evento pericoloso, cosa che si avvicina, in questo caso, alla definizione di resilienza. Un sistema è quindi più o meno vulnerabile e resilibile se è in grado, almeno in parte, di affrontare l'avversità. La vulnerabilità sociale si distingue quindi dalla vulnerabilità biofisica per il fatto che non dipende unicamente dalla frequenza e dall'intensità del rischio ma dalla proprietà stessa del sistema che la rende più o meno vulnerabile : il ricorso all'assicurazione dei beni, per esempio, è un fattore che permette di ridurre la vulnerabilità di un sistema perché permette di compensare le perdite indotte da un rischio.

Dopo una ricerca bibliografica molto approfondita sul concetto di vulnerabilità, Hans-Martin Füssel (2007), fa una riflessione sul quadro di applicazione di tale concetto alla problematica del cambiamento climatico globale. Tale idea, secondo l'autore, deve integrare le sei seguenti dimensioni, le quali comprendono la definizione del sistema preso in esame (identificare gli elementi del sistema e i loro legami), il rischio che può minacciare il sistema o i suoi elementi, la scala spaziale di studio del sistema e della sua vulnerabilità, la scala temporale per comprendere la dinamica del sistema e degli eventi, il campo in oggetto (biofisico, socio-economico o entrambe le cose), e, infine, l'esposizione o la sensibilità del sistema e delle sue componenti al rischio considerato. Tale quadro rimane ben saldato a una definizione più classica della vulnerabilità che consiste nel considerarla in funzione di un rischio molto particolare, di cui la frequenza e l'intensità possono intaccare il sistema. Questa proposta sembra pertinente per tentare di caratterizzare la vulnerabilità di un territorio, anche se bisogna deplorare la mancanza di esempi di applicazioni concrete nelle volontà dell'autore.

In un articolo pubblicato a gennaio 2007, Chloé Griot (Griot, 2007) propone una definizione di vulnerabilità specificatamente riguardo al rischio di TMP che

Brooks (2003) propose de distinguer deux types de vulnérabilité pour un territoire donné :

- La vulnérabilité biophysique : sa définition est liée au niveau d'endommagement des enjeux, qu'ils soient humains ou matériels. Elle dépend donc de l'impact physique de l'aléa sur les enjeux, aussi bien du point de vue son intensité que de sa fréquence. Cette vulnérabilité est aussi analogue à la « sensibilité » du système étudié face à l'aléa. L'usage des seuils des effets létaux par exemple permet de caractériser ainsi ; la vulnérabilité biophysique de la population sur un territoire donné ;
- La vulnérabilité sociale : elle représente la capacité d'un système à faire face à un événement dangereux, ce qui rejoint dans ce cas la définition de la résilience. Un système est donc plus ou moins vulnérable et résilient s'il est capable, au moins en partie, d'affronter l'adversité. La vulnérabilité sociale se distingue alors de la vulnérabilité biophysique par le fait qu'elle ne dépend pas uniquement de la fréquence et de l'intensité de l'aléa mais qu'elle dépend de la propriété même du système qui le rend plus ou moins vulnérable : le recours à l'assurance aux biens par exemple est un facteur permettant de réduire la vulnérabilité d'un système car il permet de compenser les pertes induites par un aléa.

A la suite d'une revue bibliographique assez étendue du concept de vulnérabilité, Hans-Martin Füssel (2007), propose un cadre de réflexion pour appliquer ce concept à la problématique du changement climatique global. Ce cadre doit, selon l'auteur, intégrer les six dimensions suivantes comprenant la définition du système étudié (identifier les éléments du systèmes et leurs liens), l'aléa pouvant affecter le système ou ses éléments, l'échelle spatiale d'étude du système et de sa vulnérabilité, l'échelle temporelle pour comprendre la dynamique du système et des événements, le domaine concerné (biophysique, socio-économique ou les deux à la fois), et enfin l'exposition ou à la sensibilité du système et de ses composants à l'aléa considéré. Ce cadre reste bien ancré à une définition plus classique de la vulnérabilité qui consiste à la considérer en fonction d'un aléa bien particulier dont la fréquence et l'intensité peuvent affecter le système. Cette proposition semble pertinente pour tenter de caractériser la vulnérabilité d'un territoire mais il faut déplorer le manque d'exemples d'applications concrètes dans les propos de l'auteur.

Dans un article publié en janvier 2007, Chloé Griot (Griot, 2007) propose une définition de la vulnérabilité spécifique au risque de TMD qui intéresse en

particulier les services de secours. Cette définition est exprimée selon la formule suivante :

Vulnérabilité = f(cibles, niveau de sensibilité, degré d'accident)
où

- les cibles supposées vulnérables sont : la population humaine (résidence, hôpitaux, écoles etc.), les biens (établissements de type ICPE, infrastructures etc.), et l'environnement (nappes phréatiques, zones agricoles etc.) ;
- le niveau de sensibilité des enjeux aux différents effets possibles, les conséquences potentiellement envisageables sur les cibles ;
- le degré d'exposition à l'aléa caractérisé par la distance de la cible à la source de danger, la proximité de zones accidentogènes, la capacité de faire face à un accident.

Cette définition de la vulnérabilité s'apparente très fortement à la démarche proposée ici pour caractériser la vulnérabilité du territoire d'étude face aux risques d'accidents de TMD. Cependant, son traitement s'en éloigne car il repose sur la hiérarchisation de la sensibilité des cibles sur un territoire selon une méthode multicritère proposée par Saaty en 1980 (méthode AHP – Analytic Hierarchy Process) pour prendre en considération les jugements d'experts. La démarche proposée s'intéresse avant tout à déterminer la sensibilité des enjeux face à des seuils spécifiques d'effets physiques et chimiques relatifs aux phénomènes dangereux pouvant se produire (flux thermiques, surpressions, concentrations en toxiques). Ces seuils représentent en soit des éléments caractérisant la vulnérabilité biophysique des enjeux et peuvent aussi être utilisés par les services de secours ou les législateurs participants à la maîtrise de l'urbanisme. Par ailleurs, notre démarche s'intéresse aussi à la caractérisation précise du territoire, y compris au niveau des probabilités d'occurrence des accidents de TMD et des paramètres météorologiques permettant de simuler les phénomènes dangereux pour en évaluer les distances d'effet sur les enjeux. Enfin, le modèle de vulnérabilité proposé s'intéresse aussi aux liens entre les éléments du territoire qui peuvent accentuer la gravité d'un accident ou, au contraire, participer à réduire les conséquences de cet événement. Le réseau constitué par ces éléments de vulnérabilité ou de résilience est à analyser et à considérer pour l'établissement d'un indice permettant de cartographier la vulnérabilité du territoire selon un phénomène dangereux particulier.

Cet indice est présenté et expliqué à la fin de ce chapitre et un exemple d'application est traité dans le chapitre 4.

riguarda in particolare i servizi di soccorso. Questa definizione è espressa con la seguente formula:

Vulnerabilità = f(bersagli, livello di sensibilità, grado di incidente)
dove

- I bersagli che si suppone siano vulnerabili sono : la popolazione umana (abitazioni, ospedali, scuole, etc.), i beni (stabilimenti di tipo ICPE, infrastrutture etc.), e l'ambiente (falde freatiche, zone agricole etc.) ;
- Il livello di sensibilità degli esposti ai diversi effetti possibili, le possibili conseguenze envisageables sui bersagli ;
- Il grado di esposizione al rischio, caratterizzato dalla distanza tra il bersaglio e la fonte del pericolo, la vicinanza a zone potenzialmente accidentate, la capacità di fronteggiare un incidente.

Questa definizione della vulnerabilità assomiglia molto all'approccio proposto qui per caratterizzare la vulnerabilità del territorio preso in esame di fronte ai rischi di incidenti di TMP. Ciò nonostante, il suo trattamento se ne allontana perché si fonda sulla gerarchizzazione della sensibilità degli obiettivi su un territorio secondo un metodo multicriterio proposto da Saaty nel 1980 (metodo AHP – Analytic Hierarchy Process) per prendere in considerazione i giudizi degli esperti. La scaletta proposta si interessa in primo luogo a determinare la sensibilità degli obiettivi di fronte a delle soglie specifiche di effetti fisici e chimici relativi ai fenomeni pericolosi che si possono produrre (flussi termici, sovrapressioni, concentrazioni di tossici). Queste soglie rappresentano in sé degli elementi che caratterizzano la vulnerabilità biofisica degli esposti e possono anche essere utilizzati per i servizi di soccorso o i legislatori che partecipano alla gestione dell'urbanistica. D'altro canto, la nostra scaletta si interessa anche alla caratterizzazione precisa del territorio, compreso al livello di probabilità di occorrenza degli incidenti di TMP e dei parametri meteorologici che permettono di simulare i fenomeni pericolosi per valutarne le distanze degli effetti sugli esposti. Infine, il modello di vulnerabilità proposto si interessa anche ai legami tra gli elementi del territorio che possono accentuare la gravità di un incidente o, al contrario, partecipare alla riduzione delle conseguenze di questo evento. Bisogna analizzare e considerare la rete costituita da questi elementi di vulnerabilità o di resilienza per stabilire un indice che permetta di cartografare la vulnerabilità del territorio secondo un particolare fenomeno pericoloso. Tale indice sarà presentato e spiegato alla fine di questo capitolo e sarà dato un esempio di applicazione nel capitolo 4.

Nell'immediato, però, i lavori presentati in seguito, si interessano preferenzialmente alla vulnerabilità biofisica del territorio perché definiscono, a partire dai valori soglia di sensibilità di questi ultimi, il livello di esposizione degli esposti del territorio di fronte ai fenomeni pericolosi che si possono manifestare a seguito di un incidente di TMP. Questi valori soglia e le entità che le producono o le raccolgono, saranno presentati nel seguente paragrafo.

Mais dans l'immédiat, les travaux présentés ci-après s'intéressent préférentiellement à la vulnérabilité biophysique du territoire car ils définissent, à partir des valeurs seuils de sensibilité de ces derniers, le niveau d'exposition des enjeux du territoire face aux phénomènes dangereux pouvant se manifester lors d'un accident de TMD. Ces valeurs seuils et les organismes qui les produisent ou les rassemblent sont présentés dans le paragraphe suivant.

3_ LES SEUILS DE VULNÉRABILITÉ BIOPHYSIQUE DES ENJEUX AUX PHÉNOMÈNES DANGEREUX

La caractérisation de la vulnérabilité biophysique de la population ou des bâtiments dépend de leur sensibilité aux phénomènes dangereux. Cette sensibilité est évaluée à partir du retour d'expérience d'accidents technologiques, d'expériences conduites en laboratoire (notamment sur les matériaux ou sur du matériel vivant tels que des cellules ou des animaux) ou encore à partir de modèles numériques.

3.1_ Les seuils de vulnérabilité des enjeux face aux effets thermiques

Le phénomène provoquant les dommages les plus importants lors d'un BLEVE est la formation d'une boule de feu dont le rayonnement thermique peut dépasser plusieurs dizaines de mètres et durer pendant plusieurs secondes. Les effets thermiques sur les personnes (figure) se caractérisent par :

- Des troubles de la thermorégulation qui engendrent une augmentation importante de la température corporelle pour évacuer la chaleur reçue par transpiration. Ce phénomène physiologique peut provoquer le décès de la personne si la température dépasse les 42°C ;
- La destruction des tissus des voies respiratoires (gorge, trachée, bronche, alvéoles pulmonaires) induite par le dessèchement et les brûlures ;
- Des lésions cutanées à différents degrés (1er, 2ème et 3ème degré). Il est estimé que le seuil de tenabilité (sans conséquences sur les tissus) de la peau au flux thermique est de 2.5 kW/m² pour une durée de 30 minutes d'exposition.

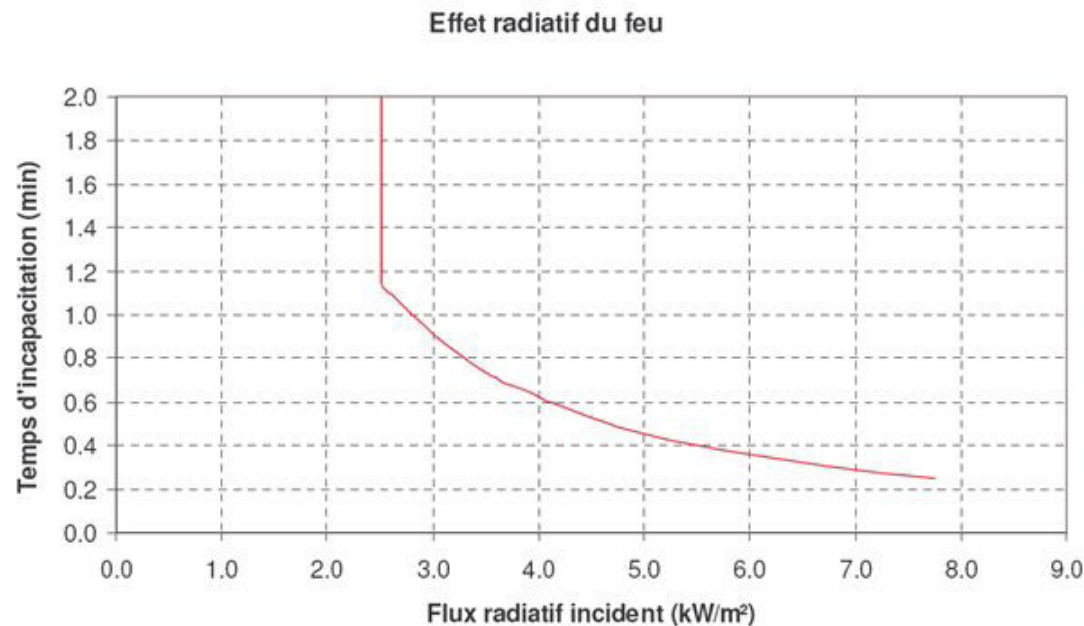
3_ LE SOGLIE DI VULNERABILITÀ BIOFISICA DEGLI ESPOSTI AI FENOMENI PERICOLOSI

La caratterizzazione della vulnerabilità biofisica della popolazione o degli edifici dipende dalla loro sensibilità rispetto ai fenomeni pericolosi. Tale sensibilità è valutata a partire dal feedback relativo agli incidenti tecnologici, alle esperienze condotte in laboratorio in particolare sui materiali o su dei materiali viventi come quelli delle cellule o degli animali) o ancora a partire da modelli numerici.

3.1_ Le soglie di vulnerabilità degli esposti di fronte agli effetti termici

Il fenomeno che provoca i danni maggiori in caso di un BLEVE è la formazione di una bolla di fuoco le cui irradiazioni termiche possono superare più di una decina di metri e durare per più secondi consecutivi. Gli effetti termici sulle persone (figura) sono caratterizzati da :

- Disturbi della termoregolazione che comportano un aumento importante della temperatura corporea per eliminare il calore ricevuto dalla traspirazione. Questo fenomeno fisiologico può provocare la morte della persona se la temperatura supera i 42°C ;
- La distruzione dei tessuti delle vie respiratorie (gola, trachea, bronchi, alveoli polmonari) provocata dalla secchezza e dalle bruciature ;
- Delle lesioni cutanee di grado differente (1°, 2° e 3° grado). Si pensa che la soglia di resistenza (senza conseguenze sui tessuti) della pelle al flusso termico sia di 2.5 kW/m² per una durata di 30 minuti di esposizione.



Effetti dell'irraggiamento termico sulle persone (Fonte: Stoll and Chianta 1969, in Guillaume, 2006)
Effet du rayonnement thermique sur les personnes (d'après Stoll and Chianta 1969, in Guillaume, 2006)

Normalmente, gli effetti termici sono studiati per delle durate inferiori e superiori ai due minuti e sono espressi rispettivamente in kW/m² e in [kW/m²]^{4/3}. Nel caso di un BLEVE, la durata dell'esposizione degli esposti ai flussi termici rimane molto breve, dell'ordine di qualche secondo, ma l'energia irradiata è spesso molto elevata. In relazione a questo carattere improvviso e all'alto livello termico, è possibile applicare la seguente relazione per il calcolo degli effetti termici :

dove

E = effetto termico considerato (letalità, bruciature di 1° grado etc.) ;

T = durata di esposizione in secondi (s) ;

Φ = flusso termico espresso in kW/m² ;

n = costante uguale a 4/3 per le condizioni menzionate precedentemente di durata e di irraggiamento termico.

Le tabelle seguenti presentano le soglie di vulnerabilità dell'essere umano e dei materiali di fronte al flusso termico.

Classiquement les effets thermiques sont étudiés pour des durées inférieures et supérieures à deux minutes et ils sont exprimés respectivement en kW/m² et en [kW/m²]^{4/3}. Dans le cadre d'un BLEVE, la durée d'exposition des enjeux aux flux thermiques reste très courte, de l'ordre de quelques secondes, mais l'énergie irradiée est bien souvent très élevée. En raison de ce caractère soudain et à haut niveau thermique, il est possible d'appliquer la relation suivante pour le calcul des effets thermiques :

où

E = effet thermique étudié (léthalité, brûlures du 1er degré etc.) ;

T = durée d'exposition en secondes (s) ;

Φ = flux thermique exprimé en kW/m² ;

n = constante égale à 4/3 pour les conditions mentionnées précédemment de durée et de rayonnement thermique.

Les tableaux suivantes présentent les seuils de vulnérabilité de l'homme et des matériaux face au flux thermiques.

Flux thermiques et conséquences sur l'homme	
Seuils exprimées en kW/m ²	Conséquences
3	Effets irréversibles (soit 600 [kW/m ²] ^{4/3})
5	Apparition des premiers effets létaux (soit 1000 [kW/m ²] ^{4/3})
8	Effets létaux significatifs (soit 1800 [kW/m ²] ^{4/3})

Seuils de vulnérabilité de l'homme aux flux thermiques (MEDAD, 2004)

Flux thermiques et conséquences sur les matériaux	
Seuils exprimées en kW/m ²	Conséquences
5	Destruction significative des vitres
8	Effets domino par propagation de l'incendie ; cloques sur la peinture, déformation de matières synthétiques
16	Tenue limite des structures pour une exposition prolongée, hors béton. Inflammation et destruction du bois et des matières synthétiques
20	Tenue du béton pendant plusieurs heures
200	Ruine du béton en quelques dizaines de minutes

Seuils de vulnérabilité des matériaux aux flux thermiques (MEDAD, 2004)

La détermination des conséquences de ces flux thermiques, comme des phénomènes de surpression ou de toxicité sur l'homme ne prennent pas en compte les caractéristiques des personnes telles que l'âge, l'état physique général etc. Pourtant, les personnes âgées et les enfants, ainsi que les personnes présentant des pathologies sont plus sensibles à ces phénomènes que les personnes des autres classes d'âges ou dont les conditions physiologiques sont saines (<http://emedicine.medscape.com/article/822587-overview>).

Ces caractéristiques, comme l'âge et le sexe des personnes exposées seront intégrées dans la partie consacrée à l'étude de la vulnérabilité du territoire en cas de gestion de crise.

Flusso termico e conseguenze sull'essere umano	
Soglie espressa in kW/m ²	Conseguenze
3	Effetti irreversibili (ossia 600 [kW/m ²] ^{4/3})
5	Comparsa dei primi effetti letali (ossia 1000 [kW/m ²] ^{4/3})
8	Effetti letali significativi (ossia 1800 [kW/m ²] ^{4/3})

Soglie di vulnerabilità dell'uomo ai flussi termici (MEDAD, 2004)

Flussi termici e conseguenze sui materiali	
Soglie espressa in kW/m ²	Conseguenze
5	Distruzione significativa dei vetri
8	Effetto domino per la propagazione dell'incendio ; bolle sulla pittura, deformazione dei materiali sintetici
16	Tenuta massima delle strutture per una esposizione prolungata, eccetto il calcestruzzo. Inflammation e distruzione del legno e dei materiali sintetici
20	Resistenza del calcestruzzo per più ore
200	Rovina del calcestruzzo in qualche decina di minuti

Soglie di vulnerabilità dei materiali ai flussi termici (MEDAD, 2004)

La determinazione delle conseguenze di questi flussi termici, così come dei fenomeni di sovrappressione o di tossicità sull'uomo non tengono conto delle caratteristiche delle persone, quali l'età, lo stato di salute generale etc. Tuttavia, gli anziani e i bambini, così come quei soggetti che presentano delle patologie, sono più sensibili a questi fenomeni rispetto alle persone di altre fasce d'età o senza problemi psicologici (<http://emedicine.medscape.com/article/822587-overview>).

Queste caratteristiche, come l'età e il sesso delle persone esposte, saranno integrate nella parte dedicata allo studio della vulnerabilità del territorio in caso di gestione della crisi.

3.2_ Le soglie della vulnerabilità degli esposti in base alle sottopressioni

Le sotto pressioni si manifestano a seguito di un'esplosione, in particolare del tipo UVCE, laddove un'onda di pressione si propaga nell'atmosfera in conseguenza alla emanazione di gas a volume iniziale quasi costante. Secondo la quantità di gas combustibile, la rugosità dell'ambiente, la velocità del vento etc., quest'onda di sovrappressione avrà delle conseguenze diverse sulle strutture e sulle persone. Gli effetti di quest'onda di sovrappressione sugli esposti sono paragonabili a degli urti di intensità variabile, ed è questa la ragione per cui si parla, in questo caso, anche di onda d'urto.

Gli effetti di questa sovrappressione sull'uomo, portano a tre tipi di lesione (Debien e al., 2006) che dipendono principalmente dalla loro distanza dalla fonte :

- Le lesioni primarie provocate dall'effetto diretto dell'onda d'urto sugli arti e sugli organi : una parte dell'energia dell'onda incidente viene riflessa mentre l'altra parte è trasmessa ai tessuti. Quest'ultima si scinde se scinde in un'onda di pressione che penetra nei tessuti e l'altra in un'onda di lacerazione chiamata anche onda di tensione. Le lesioni osservate sui polmoni sono essenzialmente dovute all'onda d'urto sul torace che provoca delle lesioni di distensione e di lacerazione degli alveoli, delle lesioni emorragiche della pleura, degli alveoli etc., delle embolie gassose indotte dalla rottura degli alveoli etc. L'onda d'urto può provocare delle lesioni sul tubo digerente (emorragie ed ematomi del colon, fegato, etc.), sui timpani (perforazione), sullo scheletro (rottura delle ossa), sul sistema cardiovascolare (diminuzione della frequenza cardiaca per alcuni minuti, abbassamento della pressione arteriosa etc.), sul le cervello (emorragie, lesioni encefaliche) etc. A seconda della loro importanza, degli organi e degli arti colpiti, queste differenti lesioni provocano sulla vittima l'immediato decesso, la perdita di conoscenza, delle crisi respiratorie, etc. ;
- Le lesioni secondarie provocate dalla caduta di schegge sulla vittima : corrispondono a delle amputazioni e/o al crivellatura degli arti e degli organi. Secondo la loro misura e la loro topografia lesionale, possono portare, nei casi più gravi, alla morte della vittima;
- Le lesioni terziarie che corrispondono alla caduta della vittima stessa : tali lesioni non sono dovute all'onda d'urto bensì alla corrente d'aria prodotta

3.2_ Les seuils de vulnérabilité des enjeux face aux surpressions

Les surpressions se manifestent lors d'explosion, notamment de type UVCE, où une onde de pression se propage dans l'atmosphère due au dégagement de gaz à volume initial quasi-constant. Selon la quantité de gaz combustible, la rugosité de l'environnement, la vitesse du vent etc., cette onde de surpression va avoir des conséquences différentes sur les structures et sur les personnes.

Les effets de cette onde de surpression sur les enjeux sont comparables à des chocs d'intensité variable, c'est la raison pour laquelle on parle aussi d'onde de choc dans ce cas.

Les effets sur l'homme de ces surpressions induisent trois types de lésions (Debien et al., 2006) dépendantes principalement de leur distance depuis la source :

- Les lésions primaires provoquées par l'effet direct de l'onde de choc sur les membres et les organes : une partie de l'énergie de l'onde incidente est réfléchi alors que l'autre partie est transmise aux tissus. Cette dernière se scinde en une onde de pression qui pénètre les tissus et l'autre en une onde de déchirement appelée aussi onde de tension. Les lésions observées sur les poumons sont essentiellement dues à l'onde de choc sur le thorax qui provoquent des lésions de distension et de déchirure des alvéoles, des lésions hémorragiques de la plèvre, des alvéoles etc., des embolies gazeuses induites par la rupture des alvéoles etc. L'onde de choc peut occasionner des lésions sur le tube digestif (hémorragies et hématomes du colon, foie, etc.), sur les tympans (perforation), sur le squelette (bris des os), sur le système cardio-vasculaire (baisse de la fréquence cardiaque pendant plusieurs minutes, chute de la pression artérielle etc.), sur le cerveau (hémorragies, lésions encéphaliques) etc. Selon leur importance, les organes et membres touchés, ces différentes lésions provoquent sur la victime le décès immédiat, la perte de connaissance, des troubles respiratoire etc. ;
- Les lésions secondaires induites par la projection de débris sur la victime : elles correspondent à des amputations et/ou au criblage des membres et des organes. Selon leur taille et leur topographie lésionnelle, elles peuvent induire le décès de la victime dans les formes les plus graves ;
- Les lésions tertiaires qui correspondent à la projection de la victime elle-même : ces lésions sont dues non pas à l'onde de choc mais au souffle de

l'explosion produit par le déplacement des masses d'air au contact de l'onde. Les décès sont le plus souvent occasionnés dans ce cas par un grave traumatisme crânien ;

- Les lésions quaternaires elles aussi consécutives au souffle et elles concernent l'écrasement des personnes suite à l'effondrement des structures. Elles correspondent aussi au stress post-traumatique ressenti par les victimes ayant survécues à l'explosion.

Les tableaux suivantes présentent respectivement les effets des surpressions sur l'homme et sur les structures selon des seuils exprimés en millibars.

Surpressions et conséquences sur l'homme	
Seuils exprimés en mbar	Conséquences
20	Effets irréversibles induits par les bris de vitre (lésions II)
50	Effets irréversibles induits par des dangers significatifs pour la vie humaine (lésions II, III)
140	Premiers effets létaux induits par des dangers graves pour la vie humaine (lésions II, III, IV) pour 1% de la population
200	Effets létaux significatifs pour au moins 1% de la population (lésions I, II, III, IV)

Seuils de vulnérabilité des matériaux aux flux thermiques (MEDAD, 2004)

dall'esplosione dallo spostamento della massa d'aria a contatto con l'onda. I decessi , in questo caso, sono provocati la maggior parte delle volte da un grave trauma cranico;

- Anche le lesioni quaternarie sono consecutive allo spostamento d'aria e corrispondono allo schiacciamento delle vittime causate dallo sprofondamento delle strutture. Corrispondono anche allo stress post-traumatico risentito dalle vittime che sono sopravvissute all'esplosione.

Le tabelle seguenti rappresentano rispettivamente gli effetti delle sovrappressioni sull'uomo e sulle strutture secondo delle soglie espresse in millibar.

Sovrappressioni e conseguenze sull'essere umano	
Soglie espresse in mbar	Conseguenze
20	Effetti irreversibili provocati dalla rottura dei vetri (lesioni II)
50	Effetti irreversibili provocati da pericoli significativi per la vita umana (lesioni II, III)
140	Primi effetti letali provocati da gravi pericoli per la vita umana (lesioni II, III, IV) per l' 1% della popolazione
200	Effetti letali significativi per almeno l' 1% della popolazione (lesioni I, II, III, IV)

Soglie di vulnerabilità dell'essere umano alle sovrappressioni (MEDAD, 2004)

Sovrapressioni e conseguenze sui materiali	
Soglie espresse in mbar	Conseguenze
20	Distruzione di almeno il 10% dei vetri, piccoli danni sulle strutture delle case
50	Distruzione di almeno il 50% dei vetri, danni leggeri sulle strutture sui telai delle finestre
140	Danni importanti sulle strutture : cedimento parziale dei muri, delle tegole, danni minori sulle strutture metalliche
200	Effetto domino, rottura delle strutture metalliche, spostamento delle fondamenta, piccole crepe nei recipienti in acciaio (es : recipienti di idrocarburi), danni sulle macchine, distruzione parziale delle case in mattoni, distruzione dei muri in calcestruzzo
300	Danni molto gravi alle strutture : distruzione degli edifici industriali leggeri, degli edifici in struttura metallica, dei serbatoi di stoccaggio, deformazione delle condotte

Soglie di vulnerabilità dei materiali alle sovrappressioni (MEDAD, 2004)

Surpressions et conséquences sur les matériaux	
Seuils exprimés en mbar	Conséquences
20	Destruction d'au moins 10% des vitres, limite de petits dommages sur les structures des maisons
50	Destruction d'au moins 50% des vitres, dégâts légers sur les structures et les cadres des fenêtres
140	Dégâts graves sur les structures : effondrement partiel des murs, des tuiles, dommages mineurs sur les structures métalliques
200	Effets domino, rupture des structures métalliques, déplacement des fondations, légères fissures dans des réservoirs en acier (ex : réservoirs d'hydrocarbures), dommages sur les machines, destruction partielle des maisons en briques, destruction des murs en parpaings
300	Dégâts très graves sur les structures : destruction des bâtiments industriels légers, des bâtiments en charpente métallique, des réservoirs de stockage, déformation des canalisations

Seuils de vulnérabilité des matériaux aux surpressions (MEDAD, 2004)

In caso di conseguenze delle sovrappressioni sulla salute umana, lo stato generale delle vittime può essere un fattore aggravante.

3.3_ Le soglie di vulnerabilità degli esposti di fronte alla concentrazione di sostanze tossiche

La determinazione delle soglie di tossicità delle sostanze pericolose dipende dalla natura stessa di quest'ultime. Le ricerche in questo campo, condotte a livello internazionale, hanno portato alla costituzione di un gran numero di data base per la diversità de4lle sostanze in questione. Normalmente tali soglie di vulnerabilità sono definite secondo la durata di esposizione del soggetto e la concentrazione degli effetti letali e di quelli irreversibili.

Per la diversità dei metodi di determinazione di tali soglie secondo i paesi e la

Dans le cas des conséquences des surpressions sur la santé humaine, l'état général des victimes peut être un facteur aggravant.

3.3_ Les seuils de vulnérabilité des enjeux face aux concentrations de substances toxiques

La détermination des seuils de toxicité des substances dangereuses dépend de la nature même de ces dernières. Les recherches dans ce domaine, conduites au niveau international, ont abouti à la constitution d'un grand nombre de bases de données en raison de la diversité des substances en question. Classiquement ces seuils de vulnérabilité sont définis selon la durée d'exposition du sujet et la concentration des effets létaux et des effets irréversibles.

En raison de la diversité des méthodes de détermination de ces seuils selon les

pays et la spécificité du cadre réglementaire français, il convient de se référer aux documents produits par les organismes français.

Par exemple, pour le chlore l'INERIS propose les seuils de toxicité aiguë suivants (tableau) :

Concentration	Temps (min.)				
	1	10	20	30	60
Seuil des effets létaux SEL					
· mg/m ³	2 639	812	580	464	319
· ppm	910	280	200	160	110
Seuil des effets irréversibles SEI					
· mg/m ³	319	119	87	72,5	55
· ppm	110	41	30	25	19

Esempio di soglie di tossicità proposte dall'INERIS riguardo al Cloro (INERIS, 2003)
Exemple de seuils de toxicité proposés par l'INERIS concernant le Chlore (INERIS, 2003)

Si les valeurs de référence françaises ne sont pas à disposition, il convient alors de se référer à la littérature étrangère en expliquant la méthodologie ayant permis d'obtenir ces résultats. Dans ce cas, il est possible d'utiliser les valeurs de l'IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) comme seuil inférieur des effets irréversibles et qui est définie comme étant la concentration maximale d'exposition pour une durée de 30 minutes sans l'apparition de troubles graves pour la santé.

Dans le cadre de l'analyse de la vulnérabilité du territoire niçois face aux risques induits par le transport de marchandises dangereuses sur route, le cas d'étude s'est porté sur l'oxyde d'éthylène. En effet, selon la DDE des Alpes Maritimes, « l'analyse comparative des risques portant sur l'ensemble des transports de matières dangereuses a mis en évidence que les transports d'oxyde d'éthylène représentent 5% du volume du trafic TMD sur le contournement de Nice mais contribuent à 43% des risques liés au TMD » (DDE06 – Juin 2003). Pour ces raisons le transport de cette matière dangereuse a été réglementé par la Préfecture des Alpes-Maritimes et, au cours de l'année 2007, son transport par la route a été interdit et déplacé sur le rail. Il faut noter que le transport par la route de l'oxyde d'éthylène reste possible en cas de mouvement de grève de la SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer) au moyen d'une autorisation préfectorale.

specificità del quadro legislativo francese, conviene riferirsi ai documenti scritti dagli enti francesi.

Per esempio, per il cloro l'INERIS propone le seguenti soglie di tossicità acuta (tabella) :

Siccome i valori di riferimento francesi non sono disponibili, conviene fare riferimento alla letteratura straniera spiegando la metodologia che ha permesso di ottenere questi risultati. In questo caso, è possibile utilizzare i valori dell'IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) come soglia minima per gli effetti irreversibili e che si definiscono come aventi la concentrazione massima di esposizione per una durata di 30 minuti senza la comparsa di disturbi gravi per la salute.

Per quanto riguarda l'analisi della vulnerabilità del territorio nizzardo di fronte ai rischi provocati da trasporto di merci pericolose su strada, il caso di studio riguarda l'ossido di etilene. Infatti, secondo la DDE delle Alpi Marittime, « l'analisi comparativa dei rischi che riguarda l'insieme dei trasporti delle materie pericolose, ha messo in evidenza il fatto che i trasporti di ossido d'etilene rappresentano il 5% del volume di traffico TMP sulla circonvallazione di Nizza ma contribuiscono al 43% dei rischi legati al TMP » (DDE06 – giugno 2003). Perciò, il trasporto di tale sostanza pericolosa, è stata regolamentata dalla Prefettura delle Alpi-Marittime e, durante il 2007, ne è stato vietato il trasporto su strada spostandolo su ferrovia. Bisogna sottolineare che il trasporto su strada dell'ossido di etilene resta fattibile in caso di sciopero della SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer) tramite un'autorizzazione della prefettura.

Questa sostanza è uno sterilizzatore chimico usato per uccidere i batteri, le muffe e i funghi, soprattutto negli ambienti ospedalieri e nel settore agro-alimentare (per esempio, sterilizzazione delle spezie). L'ossido di etilene viene anche utilizzato nell'industria come intermediario delle reazioni chimiche per la creazione dell'etilene glicole (antigelo nelle automobili), per la produzione del poliestere, di detergenti ecc.

L'ossido di etilene (C_2H_4O) si presenta sotto forma di un gas incolore (Punto di ebollizione a $10.6\text{ }^{\circ}C$), più pesante dell'aria (densità del gas = 1.49), dall'odore dolciastro individuabile a delle concentrazioni nell'aria dell'ordine di 300 ppm a $T = 20^{\circ}C$ e $P = 1013\text{ mbar}$ o 1 atm (INRS, 2006). L'ossido di etilene è una componente molto esplosiva alle alte temperature o in caso di contaminazione da acidi, da basi, da sali, dai materiali combustibili, dagli ossidanti, dal cloruro di ferro, da alluminio, da boro e da stagno, da ossidi di ferro (ruggine) e da alluminio.

I rischi per l'essere umano e gli animali che riguardano l'ossido di etilene sono legati principalmente all'inalazione: secondo le concentrazioni, l'ossido di etilene provoca delle irritazioni alle mucose e agli occhi, dei problemi respiratori che possono portare alla formazione di un edema polmonare da irritazione, dei problemi digestivi (nausea, vomito, diarrea), e dei problemi neurologici (mal di testa, sonnolenza, stanchezza muscolare, scoordinazione, coma). L'ossido di etilene presenta anche degli effetti mutageni (aberrazioni cromosomiche dei linfociti) e cancerogeni (leucemie e linfomi) dopo delle esposizioni di breve durata a delle forti concentrazioni a seguito dell'esposizione a piccole dosi per lunghi periodi. Infine, queste sostanze provocherebbero degli effetti sulla riproduzione, in particolare aborti spontanei, nascite premature o, al contrario, una durata maggiore della gravidanza.

Non essendo stato possibile trovare delle schede di tossicità prodotte da enti francesi per l'ossido di etilene, i valori di riferimento sono stati trovati nelle letterature straniere, in particolare sul sito Internet del National Institute for Occupational Safety and Health (<http://www.cdc.gov/niosh/topics/ethyleneoxide/> - NIOSH). La soglia degli effetti irreversibili è quindi fissata a 800 ppm per 30 minuti di esposizione (IDLH) e, quella degli effetti letali, a 2.900 ppm per un'ora di esposizione. Quest'ultima corrisponde alla CL50 testata in laboratorio sui topi, essendo la CL50 la concentrazione per la quale il 50% della popolazione esposta muore. NIOSH ricorda anche che la soglia inferiore di infiammabilità dell'ossido di etilene è di 30.000 ppm (NIOSH, 2000) : a questa concentrazione

Cette substance est un stérilisant chimique utilisé pour tuer les bactéries, les moisissures et les champignons, notamment dans les milieux hospitaliers et dans le secteur agroalimentaire (stérilisation des épices par exemple). L'oxyde d'éthylène est aussi utilisé dans l'industrie comme intermédiaire de réactions chimiques pour la fabrication de l'éthylène glycol (antigel dans les automobiles), pour la production des polyesters, de détergents etc.

L'oxyde d'éthylène (C_2H_4O) se présente sous la forme d'un gaz incolore (Point d'ébullition à $10.6\text{ }^{\circ}C$), plus lourd que l'air (densité du gaz = 1.49), d'odeur douceâtre détectable à des concentrations dans l'air de l'ordre de 300 ppm à $T = 20^{\circ}C$ et $P = 1013\text{ mbar}$ ou 1 atm (INRS, 2006). L'oxyde d'éthylène est un composé extrêmement et de façon explosive à haute température ou en cas de contamination par les acides, les bases, les sels, les matériaux combustibles, les oxydants, les chlorures de fer, d'aluminium, de bore et d'étain, les oxydes de fer (la rouille) et d'aluminium.

Les risques pour l'homme et les animaux concernant l'oxyde d'éthylène sont principalement liés à son inhalation : selon les concentrations, l'oxyde d'éthylène provoque des irritations des muqueuses et des yeux, des troubles respiratoires pouvant conduire à la formation d'un œdème pulmonaire d'irritation, des troubles digestifs (nausée, vomissement, diarrhée), et des troubles neurologiques (maux de tête, somnolence, faiblesse musculaire, incoordination, coma). L'oxyde d'éthylène présente aussi des effets mutagènes (aberrations chromosomiques des lymphocytes) et cancérogènes (leucémies et lymphomes) après des expositions de courtes durée à de fortes concentrations ou au cours d'exposition à de faibles doses pendant de longues périodes. Enfin, cette substance provoquerait des effets sur la reproduction, notamment des fausses couches, des naissances prématurées ou au contraire un allongement de la grossesse.

Etant donné qu'il n'a pas été possible de trouver des fiches de toxicité produites par des organismes français pour l'oxyde d'éthylène, les valeurs de référence ont donc été trouvées dans la littérature étrangère, notamment sur le site Internet de la National Institute for Occupational Safety and Health (<http://www.cdc.gov/niosh/topics/ethyleneoxide/> - NIOSH). Le seuil des effets irréversibles est donc fixé à 800 ppm pour 30 minutes d'exposition (IDLH) et celui des effets létaux à 2.900 ppm pour une heure d'exposition. Ce dernier correspond à la CL50 testée en laboratoire sur des rats, la CL50 étant la concentration pour laquelle 50% de la population exposée décède. NIOSH rappelle aussi que le seuil inférieur d'flammabilité de l'oxyde d'éthylène est de 30.000 ppm (NIOSH, 2000) : à cette

concentration un nuage de gaz peut s'enflammer et provoquer une explosion analogue à un UVCE dans le cas qui nous intéresse. Ces trois seuils seront donc utilisés au cours des simulations des conséquences d'un accident de TMD.

La figure rappelle les principaux dangers liés à l'utilisation d'oxyde d'éthylène.

una nuvola di gas può infiammarsi e provocare un'esplosione analoga a un UVCE nel caso che ci interessa. Queste tre soglie saranno quindi utilizzate durante le simulazioni delle conseguenze di un incidente di TMP.

La figura ricorda i principali pericoli legati all'utilizzo di ossido d'etilene.



Etichetta di pericolosità dell'ossido di etilene (INRS, 2006)
Etiquette de danger de l'oxyde d'éthylène (INRS, 2006)

Le point suivant décrit le territoire étudié qui présente un certain degré de vulnérabilité face aux phénomènes dangereux précédemment décrits.

Il punto successivo descrive il territorio preso in esame che presenta un certo grado di vulnerabilità di fronte ai fenomeni pericolosi precedentemente descritti.

4_ ANALISI DI UN TERRITORIO

VULNERABILE : L'ASSE NIZZA – IMPERIA –SAVONA

I flussi di merci pericolose in Europa rappresentano circa il 5% dei flussi di merci su strada (Eurostat, 2008). L'analisi delle statistiche dei flussi delle materie pericolose in Francia e in Italia mostrano che questi due paesi si trovano in una situazione simile perché tra il 1999 e il 2003 le percentuali di TMP su strada che circolava in Francia rappresentava circa il 4.5% e in Italia circa il 6.5% (figura).

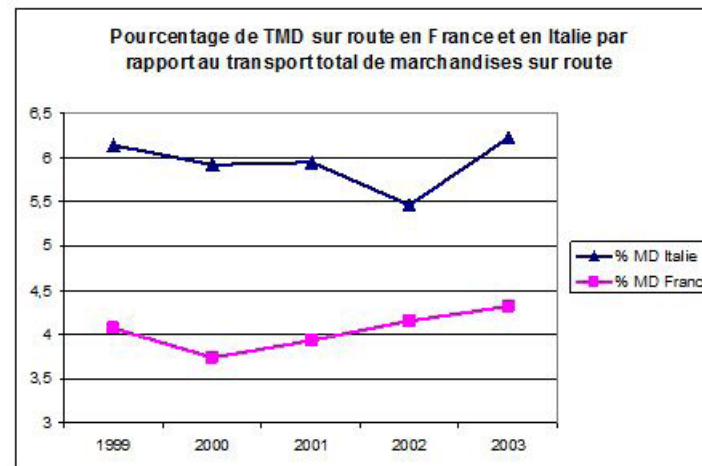
Se si riportano queste percentuali ai valori forniti da Eurostat, per l'anno 2003 (anno di riferimento perché le statistiche non sono più state aggiornate per i due paesi), per i 204 miliardi di tonnellate di merci per chilometro (Mt×km) trasportate in Francia e 163 Mt×km trasportate in Italia, circa 9 Mt×km rappresentano delle merci pericolose in Francia contro 10 Mt×km in Italia.

4_ ÉTUDE D'UN TERRITOIRE

VULNÉRABLE : L'AXE NICE – IMPERIA –SAVONA

Les flux de marchandises dangereuses en Europe représentent près de 5% des flux de marchandises par la route (Eurostat, 2008). L'étude des statistiques des flux de matières dangereuses en France et en Italie montre que ces deux pays se situent dans cette même tendance puisque entre 1999 et 2003 le pourcentage de TMD par la route circulant en France représentait près de 4.5% et en Italie près de 6.5% (figure).

Si l'on ramène ces pourcentages aux valeurs fournies par Eurostat, pour l'année 2003 (année de référence car les statistiques n'ont pas été mises à jour depuis pour les deux pays), pour les 204 milliards de tonnes de marchandises par kilomètres (Mt×km) transportées en France et 163 Mt×km transportées en Italie, près de 9 Mt×km représentent des marchandises dangereuses en France contre 10 Mt×km en Italie.



Comparazione delle percentuali di TMP in rapporto al trasporto di fret totale su strada in Francia e in Italia tra il 1999 e il 2003 (Eurostat, 2008)
Comparaison des pourcentages de TMD par rapport au transport de fret total sur route en France et en Italie entre 1999 et 2003 (Eurostat, 2008)

Ces valeurs agrégées au niveau national ne permettent pas de connaître précisément les valeurs des flux de TMD au niveau régional, voire départemental. Pour cela il convient de s'adresser aux pouvoirs publics tels que les DDE (Direction Départementale de L'Équipement) ou DRE (Direction Régionale de L'Équipement) ou encore aux structures d'information telles que le CYPRES (Centre d'Information du Public sur les Risques) en PACA (Provence – Alpes – Côte d'Azur).

4.1_ Présentation générale du territoire d'étude

Le territoire d'étude concerne l'axe transfrontalier entre l'Italie et la France et, plus particulièrement, les provinces de Savona et d'Imperia pour la partie italienne et le département des Alpes-Maritimes, avec en particulier la Côte d'Azur et la ville de Nice pour la partie française (figure).

Questi valori uniti a livello nazionale, non permettono di conoscere precisamente i valori dei flussi di TMP a livello regionale, perfino dipartimentale. Per questo, conviene rivolgersi ai poteri pubblici come la DDE (Direction Départementale de L'Équipement) o la DRE (Direction Régionale de L'Équipement) o, ancora, alle strutture d'informazione come il CYPRES (Centre d'Information du Public sur les Rischos) nella regione PACA (Provence – Alpes – Côte d'Azur).

4.1_ Presentazione generale del territorio di indagine

Il territorio d'indagine riguarda l'asse trasfrontaliero tra l'Italia e la Francia e, più precisamente, le province di Savona e Imperia per la parte italiana e il dipartimento delle Alpi-Marittime, con, in particolare, la Costa Azzurra e la città di Nizza per la parte francese (figura).



Territorio interessato dai lavori di ricerca e sviluppo
Territoire concerné par les travaux de recherche et développement

Come mostra la cartina, il territorio considerato ricopre un interesse comune a livello ambientale ed economico così come strategico per il settore trasporti. Il territorio transfrontaliero tra l'Italia e la Francia, a causa della conformazione particolare della regione, impone di canalizzare i flussi di merci pericolose lungo l'asse Nizza-Imperia-Savona.

Il tracciamento delle merci pericolose, focalizzato lungo questa arteria, rappresenta per il settore dei trasporti un valore aggiunto supplementare che favorisce un forte impulso per l'integrazione delle metodologie, delle tecniche e degli strumenti per la gestione e la prevenzione del rischio da TMP nei due paesi concernati. La presenza di elementi particolarmente sensibili su questa infrastruttura, come i viadotti o i tunnel e la grande urbanizzazione dei territori confinanti generano, inoltre, la congestione delle vie di comunicazione transfrontaliera che conferiscono al trasporto di merci pericolose un alto livello di rischio per le persone e l'ambiente.

Alla luce di queste caratteristiche e della grande espansione che il settore dei trasporti conoscerà sul territorio europeo, soprattutto alle frontiere, sarà necessario per i prossimi anni introdurre delle politiche comuni al fine di migliorare la pianificazione del TMP tra i paesi interessati, e per la messa in sicurezza delle infrastrutture di trasporto con l'integrazione di metodologie e di tecnologie informatiche, sistemiche e telematiche.

Per una valutazione completa del rischio, è necessario conoscere il territorio esaminato e acquisire delle informazioni sulle fonti possibili di rischio legate al TMP. In questo modo, conviene disporre di informazioni per una gestione performante del rischio (Nicolet-Monnier and Gheoghe, 1996).

Per la gestione del rischio del TMP, è fondamentale analizzare la morfologia del territorio e delle infrastrutture di trasporto, tenendo conto delle fonti di rischio, come i flussi in ingresso, in uscita e all'interno dell'area e della presenza di stabilimenti a rischio o di immobili vicini alle infrastrutture di trasporto.

La provincia di Savona comprende 69 comuni su una superficie di 1.545 km², con 282.548 abitanti (ISTAT 2006), e una densità di circa 182 abitanti/km². Per quanto riguarda le strade, la provincia è attraversata da due autostrade che hanno un traffico importante. L'autostrada A10, che permette di raggiungere le città di Genova, Savona, Ventimiglia, mentre il Piemonte e, più precisamente, la provincia di Cuneo è raggiunta dall'autostrada A6 tra Savona e Torino. Savona possiede, tra le altre cose, uno dei porti turistici e commerciali più importanti

Comme le montre la carte, le domaine concerné revêt un intérêt commun aussi bien au niveau environnemental et économique que stratégique pour le secteur du transport. Le territoire transfrontalier entre l'Italie et la France, en raison de la conformation particulière de la région, impose de canaliser les flux de matières dangereuses le long de l'axe Nice-Imperia-Savona.

Le suivi des marchandises dangereuses, focalisé le long de cette artère, représente pour le secteur des transports une valeur ajoutée supplémentaire en favorisant une forte impulsion pour l'intégration de méthodologies, de techniques et d'instruments pour la gestion et la prévention du risque de TMD dans les deux pays impliqués. La présence d'éléments particulièrement sensibles sur cette infrastructure tels que les viaducs ou les tunnels et la grande urbanisation des territoires environnants génèrent, en outre, la congestion des voies de communication transfrontalières conférant au transport de marchandises dangereuses un haut niveau de risque pour les personnes et l'environnement.

A la lumière de ces caractéristiques et de la grande expansion que le secteur des transports connaîtra sur le territoire européen, notamment aux frontières, il sera nécessaire pour les prochaines années d'introduire des politiques communes afin d'améliorer la planification du TMD entre les pays concernés, et pour la sécurisation des infrastructures de transport avec l'intégration de méthodologies et de technologies informatiques, systémiques et télématiques.

Pour une évaluation complète du risque il est nécessaire de connaître le territoire concerné et d'acquérir des informations sur les sources possibles de risque lié aux TMD. De ce fait, il convient de disposer des informations pour une gestion performante du risque (Nicolet-Monnier and Gheoghe, 1996).

Pour la gestion du risque de TMD, il est fondamental d'analyser la morphologie du territoire et des infrastructures de transport, en tenant compte des sources de risque tels que les flux en entrée, en sortie et à l'intérieur de l'aire et de la présence d'établissements à risques ou des immeubles à proximité des infrastructures de transport.

La province de Savona comprend 69 communes sur une surface de 1.545 km², avec 282.548 habitants (ISTAT 2006), et une densité d'environ 182 habitants/km². En ce qui concerne les routes, la province est traversée par deux autoroutes ayant un trafic important. L'autoroute A10, qui permet de rejoindre les villes de Gênes, Savona, Ventimille alors que le Piémont, et plus précisément la province de Cuneo est rejointe par l'autoroute A6 entre Savona et Turin. Savona abrite, en outre, un des ports touristiques et commerciaux les plus importants d'Italie, le deuxième

de Ligurie après celui de Gênes.

Dans le port de Vado Ligure, commune limitrophe à Savona, se trouve un des plus importants dépôts de matières dangereuses du territoire étudié. Un tel domaine d'activités représente un nœud logistique de première importance pour la distribution de produits pétroliers et de matières dangereuses pour toute la région ligure mais surtout, pour l'axe transfrontalier avec un considérable flux de marchandises. Le pôle de Vado est un centre de distribution multimodal où confluent des marchandises provenant des régions limitrophes et, grâce au transport maritime, des ports de la méditerranée.

La province d'Imperia occupe une surface de 1.156 km² avec 217.037 habitants et une densité de 188 hab./km² (ISTAT 2006). Elle est traversée par l'autoroute A10 Gênes-Vintimille et constitue le territoire frontalier avec la France.

Le département des Alpes-Maritimes s'étend sur une surface de 4.299 km² avec une population de 1.011.326 habitants et une densité de 235 hab./km² (INSEE, 2006). L'autoroute A8 traverse le département et permet de rejoindre l'Italie. La ville de Nice, qui comprend 347.900 habitants, est le chef lieu des Alpes-Maritimes et se trouve à 40 km de la frontière italienne. L'une des principales activités de la ville de Nice et, par extension, de la Côte d'Azur reste le tourisme et les hautes technologies. Le tissu industriel est peu développé par rapport aux départements du Vaucluse et surtout des Bouches-du-Rhône. Cependant, du fait de sa position entre deux pôles industriels majeurs représentés par la Ligurie et par les Bouches-du-Rhône, le département des Alpes-Maritimes est emprunté par des camions TMD.

Du point de vue de l'environnement naturel, le territoire traversé par l'axe Nice – Imperia – Savona présente des situations analogues : proximité de la Méditerranée, des collines et des montagnes et quelques zones de plaines à proximité du littoral. Il possède aussi un réseau hydrographique complexe en raison notamment des caractéristiques géomorphologiques contrastées. La faune et la flore sont particulièrement remarquables et représentent un foyer de richesse taxonomique parmi les plus importants d'Europe avec la présence de nombreuses espèces endémiques ou rares (orchidées, algues, lépidoptères, scarabées etc.). Ce territoire comprend ainsi plusieurs parcs naturels et zones de protection de divers statuts pour favoriser la préservation de la biodiversité locale.

d'Italia, il secondo della Liguria dopo quello di Genova. Nel porto di Vado Ligure, comune limitrofo a Savona, c'è uno dei depositi di merci pericolose del territorio esaminato. Tale dominio d'attività rappresenta un nodo logistico d'importanza primaria per la distribuzione di prodotti petroliferi e di merci pericolose per tutta la regione Liguria ma, soprattutto, per l'asse transfrontaliero con un flusso considerevole di merci.

Il polo di Vado è un centro di distribuzione multimodale dove confluiscono delle merci che provengono dalle regioni limitrofe e, grazie al trasporto marittimo, dai porti del mediterraneo.

La provincia di Imperia occupa una superficie di 1.156 km² con 217.037 abitanti e una densità di 188 ab./km² (ISTAT 2006). È attraversata dall'autostrada A10 Genova-Ventimiglia e rappresenta il territorio frontaliero con la Francia.

Il dipartimento delle Alpi-Marittime si estende su una superficie di 4.299 km² con una popolazione di 1.011.326 abitanti e una densità di 235 ab./km² (INSEE, 2006). L'autostrada A8 attraversa il dipartimento e permette di raggiungere l'Italia. La città di Nizza, che ospita 347.900 abitanti, è il capo luogo delle Alpi-Marittime e si trova a 40 km dalla frontiera italiana. Una delle principali attività della città di Nizza e, per estensione, della Costa Azzurra è rappresentata dal turismo e dalle alte tecnologie. Il tessuto industriale è poco sviluppato in rapporto ai dipartimenti di Vaucluse e, soprattutto, di Bouches-du-Rhône. Ciò nonostante, a causa della sua posizione tra i due maggiori poli industriali, rappresentati dalla Liguria e dal Bouches-du-Rhône, il dipartimento delle Alpi-Marittime è attraversato da camion che trasportano merci pericolose.

Dal punto di vista dell'ambiente naturale, il territorio attraversato dall'asse Nizza – Imperia – Savona presenta delle situazioni analoghe : vicinanza al Mediterraneo, presenza di colline e montagne e qualche zona pianeggiante vicino al litorale. Ha anche una rete idrografica complessa dovuta soprattutto a delle caratteristiche geomorfologiche contrastanti. La fauna e la flora sono particolarmente notevoli e presentano una varietà di ricchezza tassonomica tra le più importanti d'Europa con la presenza di numerose specie endemiche o rare (orchidee, alghe, lepidotteri, scarabei, etc.). Tale territorio comprende ospita al suo interno anche numerosi parchi naturali e zone protette di diverso status per favorire la preservazione della biodiversità locale.

4.2_ Dati sui flussi di TMP sul territorio transfrontaliero

Il mercato delle merci pericolose in Italia, secondo la stima del Conto Nazionale dei Trasporti 2002, ha totalizzato 23.058.000 tonnellate di export e 181.613.000 tonnellate di import nel 2002. Riguardo alle sistema esaminato, sono stati presi in considerazione alcuni dati sui flussi nelle regioni Liguria e PACA (regione Provincia-Alpi-Costa Azzura). I dati Eurostat 2005 dei flussi nazionali di merci pericolose tra Francia e Italia vengono presentati secondo la loro classe nelle tabelle 2.10 e 2.11.

La regione PACA ha svolto sulle sue autostrade un monitoraggio periodico dei veicoli al fine di realizzare un data base sui flussi di TMP. I punti di conteggio per il censimento dei veicoli sono localizzati sul territorio in modo omogeneo, a livello degli accessi dell'autostrada delle città e delle località di Antibes, Le Capitou, La Turbie, La Barque e la Ciotat (figura). Tali dati sono stati messi a disposizione dal CYPRES (centro d'informazione degli utenti per la prevenzione dei rischi industriali e la protezione dell'ambiente).

4.2_ Données sur les flux de TMD sur le territoire transfrontalier

Le marché des matières dangereuses en Italie, selon les estimations du Conto Nazionale dei Trasporti 2002, totalise à l'exportation 23.058.000 tonnes et 181.613.000 tonnes à l'importation pour l'année 2002. Concernant le système étudié, des données sur les flux en Ligurie et en PACA (région Provence-Alpes-Côte d'Azur) ont été mobilisées. Les données Eurostat 2005 des flux nationaux des matières dangereuses entre la France et l'Italie sont présentées selon leur classe dans les tableaux 2.10 et 2.11.

La région PACA a effectué sur ses autoroutes un suivi périodique des véhicules afin de réaliser une base de données sur les flux de TMD. Les points de comptage pour le recensement des véhicules sont localisés sur le territoire de façon homogène, au niveau des entrées d'autoroute des villes et des lieux dits d'Antibes, Le Capitou, La Turbie, La Barque et la Ciotat (figure). Ces données ont été mises à disposition par le CYPRES (centre d'information du public pour la prévention des risques industriels et la protection de l'environnement).



Localizzazione dei punti di conteggio di TMP su strada (Cipro, 2007)
Localisation des points de comptage des TMD sur route (Cyprès, 2007)

Le suivi des flux a été réalisé au cours du semestre partant de septembre 2004 à février 2005 et les flux sont classés selon leur direction (Italie vers la France ou France vers l'Italie) pour les différentes heures et les jours de la semaine.

	Tonnes par km (millions)	Véhicules par km (millions)
Explosifs	20	8
Gaz comprimés, liquéfiés, ou dissous sous pression	1073	121
Liquides inflammables	5459	383
Solides inflammables	52	4
Matières sujettes à une combustion instantanée	/	/
Matières qui émettent des gaz inflammables	/	/
Matières oxydantes	237	14
Peroxydes organiques	/	/
Matières toxiques	54	4
Matières pouvant provoquer des infections	23	16
Matières radioactives	40	2
Corrosifs	561	36
Matières dangereuses mixtes	530	32
Total des matières dangereuses	8070	622

Transport annuel de matières dangereuses sur route de France vers l'Italie (en millions de tonnes par km et millions de véhicules par km)

Il tracciamento dei flussi è stato analizzato nel corso del semestre che parte da settembre 2004 e arriva a febbraio 2005 e i flussi sono classificati secondo la loro direzione (dall'Italia alla Francia o dalla Francia all'Italia) per le diverse ore e i diversi giorni della settimana.

	Tonnellate per km (milioni)	Veicoli per km (milioni)
Esplosivi	20	8
Gas compressi, liquidi, o disciolti sotto pressione	1073	121
Liquidi infiammabili	5459	383
Solidi infiammabili	52	4
Sostanze soggette a combustione istantanea	/	/
Sostanze che emettono gas inflammabili	/	/
Sostanze ossidanti	237	14
Perossidi organici	/	/
Sostanze tossiche	54	4
Sostanze che possono provocare infezioni	23	16
Sostanze radioattive	40	2
Corrosivi	561	36
Sostanze pericolose miste	530	32
Totale delle sostanze pericolose	8070	622

Trasporto annuale di sostanze pericolose su strada dalla Francia all'Italia (in milioni di tonnellate per km e milioni di veicoli per km)

	Tonnellate per km (milioni)	Veicoli per km (milioni)
Esplosivi	32	2
Gas compressi, liquefatti, o disciolti sotto pressione	1712	176
Liquidi infiammabili	6584	338
Solidi infiammabili	88	6
Sostanze soggette a combustione istantanea	24	3
Sostanze che emettono gas infiammabili	/	/
Sostanze ossidanti	170	9
Perossidi organici	12	2
Sostanze tossiche	183	12
Sostanze che possono provocare infezioni	143	14
Sostanze radioattive	/	/
Corrosivi	1209	62
Sostanze pericolose miste	186	15
Totale delle sostanze pericolose	10361	640

Trasporto annuale di sostanze pericolose su strada dall'Italia verso la Francia (in milioni di tonnellate per km e milioni di veicoli per km)

Qui sotto vengono presentati i dati rilevati alla barriera di pedaggio ad Antibes e a La Turbie che sono le località più vicine alla frontiera italiana e, di conseguenza, i più interessanti per la valutazione dei flussi in entrata e in uscita della zona presa in esame per il caso di studio.

	Tonnes par km (millions)	Véhicules par km (millions)
Explosifs	32	2
Gaz comprimés, liquéfiés, ou dissous sous pression	1712	176
Liquides inflammables	6584	338
Solides inflammables	88	6
Matières sujettes à une combustion instantanée	24	3
Matières qui émettent des gaz inflammables	/	/
Matières oxydantes	170	9
Peroxydes organiques	12	2
Matières toxiques	183	12
Matières pouvant provoquer des infections	143	14
Matières radioactives	/	/
Corrosifs	1209	62
Matières dangereuses mixtes	186	15
Total des matières dangereuses	10361	640

Transport annuel de matières dangereuses sur route d'Italie vers la France (en millions de tonnes par km et millions de véhicules par km)

Ci-dessous sont présentées les données relevées sur les barrières de péage à Antibes et à La Turbie qui sont les localités les plus proches de la frontière italienne et, par conséquent, les plus intéressantes pour l'évaluation des flux en entrée et en sortie de l'aire considérée pour le cas d'étude.

Direction Italie Vers Aix		
	Poids lourds	Matières dangereuses
Antibes	8,80%	4,2%
La Turbie	12,20%	4%

Quantità di merci pesanti che transitano su Antibes e La Turbie in direzione dell'Italia
Quantité de poids lourds transitant sur Antibes et La Turbie en direction de l'Italie

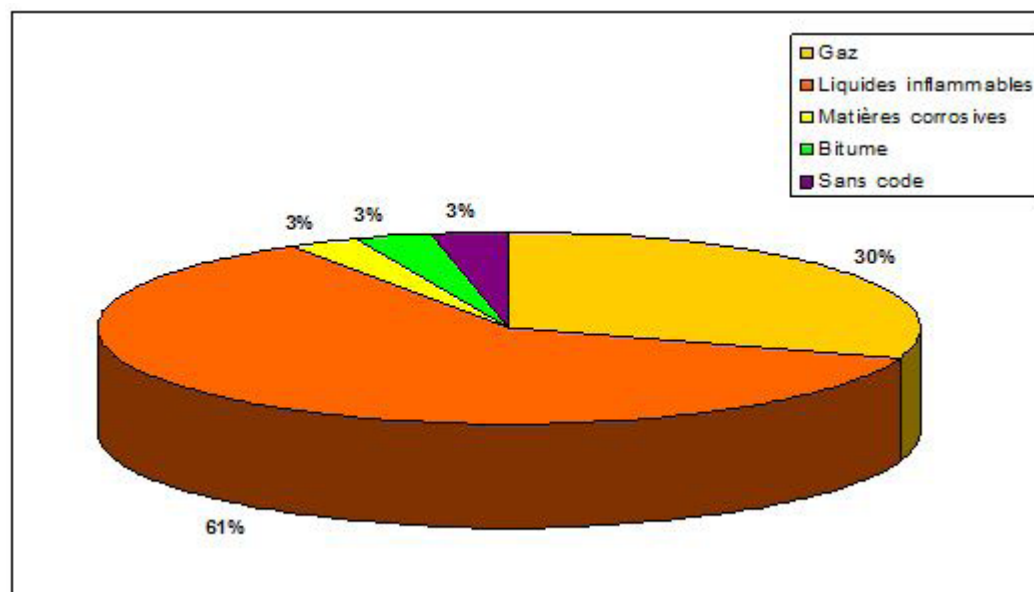
Direction Aix vers Italie		
	Poids lourds	Matières dangereuses
Antibes	10,52%	4,60%
La Turbie	12,10%	3%

Quantità di mezzi pesanti che transitano su Antibes e La Turbie provenienti dall'Italia. La percentuale dei mezzi pesanti è basata sul numero totale dei veicoli contabilizzabili durante le campagne di contabilizzazione mentre quello relativo al TMP proviene dal totale dei mezzi pesanti in transito

Quantité de poids lourds transitant sur Antibes et La Turbie en provenance de l'Italie. Le pourcentage des poids lourds est basé sur le nombre total des véhicules comptabilisés au cours des campagnes de comptage alors que celui des TMD provient du total des poids lourds en transit

Il est intéressant de noter qu'à Antibes la classe de matières dangereuses majoritaire est celle des liquides inflammables avec 61% du total transporté (figure 2.6 : ce chiffre confirme donc les informations publiées par EUROSTAT sur les proportions de matières dangereuses transportées sur les routes.

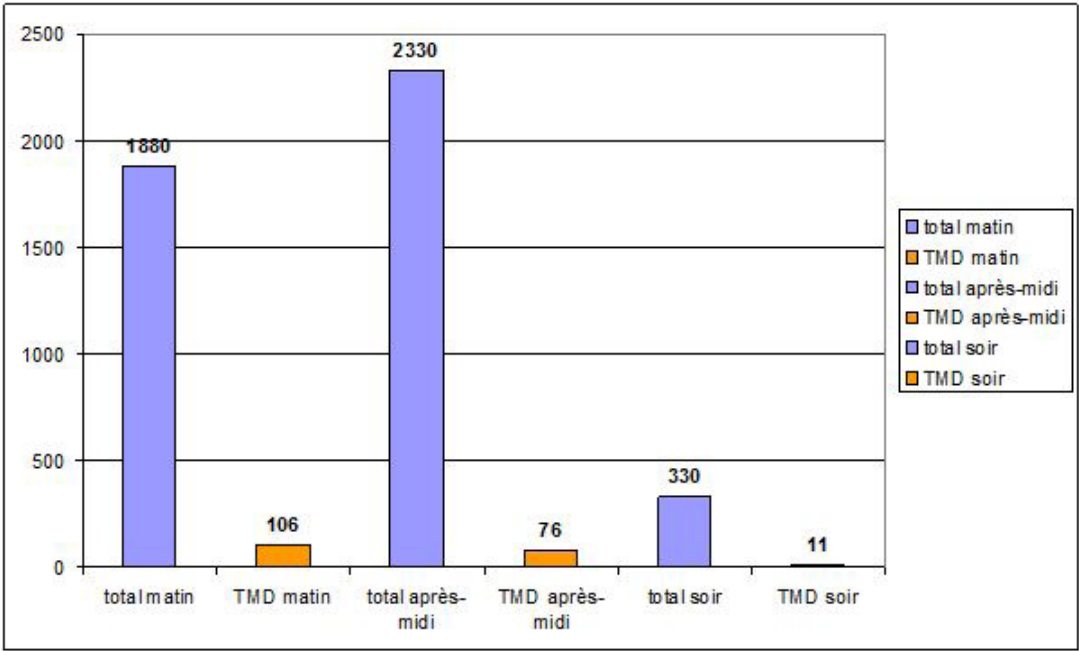
È interessante notare che ad Antibes la categoria maggioritaria di sostanze pericolose è quella dei liquidi infiammabili con il 61% di totale trasportato (figura) : questa cifra conferma quindi le informazioni pubblicate da EUROSTAT sulle proporzioni delle sostanze pericolose trasportate su strada.



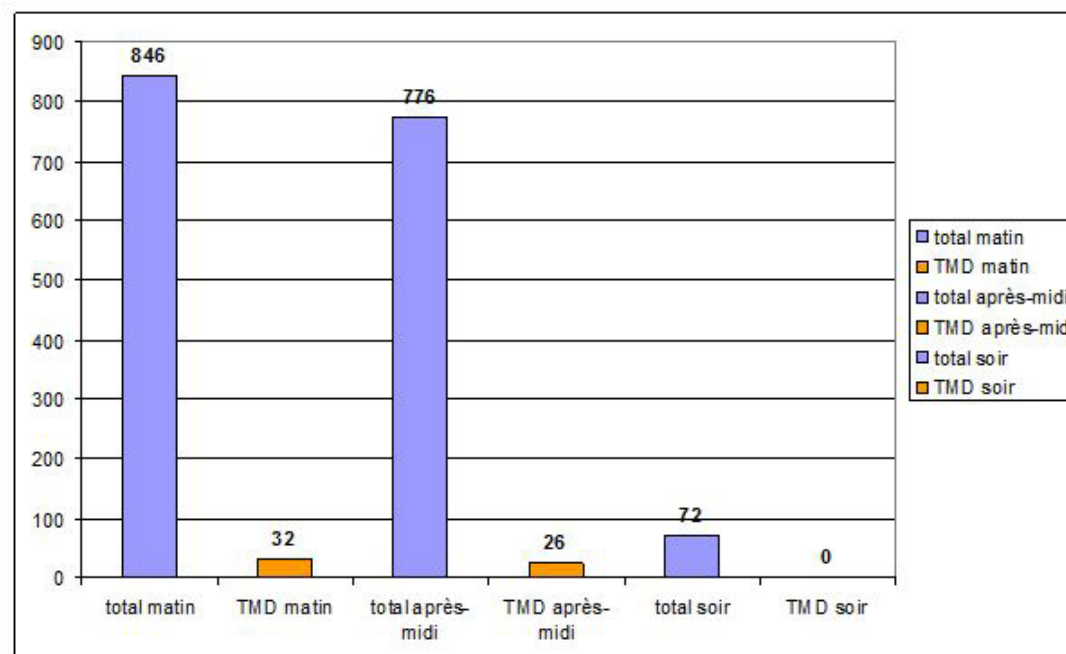
Ripartizione per categoria delle materie pericolose trasportate secondo le osservazioni fatte ad Antibes
Répartition par classe de matière dangereuse transportée selon les observations effectuées à Antibes

Come mostrano le figure la ripartizione dei flussi è stata analizzata secondo il momento della giornata (mattino, mezzogiorno, sera) per i settori di Antibes e La Turbie : nei due casi, il flusso di sostanze pericolose è concentrato, soprattutto, al mattino.

Comme le montrent les figures la répartition des flux a été analysée selon la période de la journée (matin, midi, soir) pour les secteurs d'Antibes et de La Turbie : dans les deux cas le flux de matières dangereuses s'effectue majoritairement le matin.



Ripartizione nella giornata dei flussi totali di veicoli e del TMD ad Antibes
Répartition durant la journée des flux totaux de véhicules et de TMD à Antibes



Ripartizione durante la giornata dei flussi totali dei veicoli e del TMP a La Turbie
Répartition durant la journée des flux totaux de véhicules et de TMD à La Turbie

Pour intégrer le recueil des données sur les flux de matières dangereuses, d'autres données ont été recueillies par le CYPRES et ces dernières concernent les quantités de matières dangereuses transportées à l'intérieur de la région PACA par l'évaluation des flux d'entrée et de sortie. Pour 2003, la quantité de marchandises dangereuses transportées est la suivante :

- en sortie : 1.707.001 tonnes ;
- en entrée : 402.983 tonnes ;
- intrarégional : 4.822.581 tonnes.

Cependant, les données fournies par les autorités restent elles aussi très agrégées et ne permettent que de connaître que les grandes familles de matières dangereuses transportées (Matières liquides inflammables, Matières corrosives, Gaz comprimés, liquéfiés ou dissous sous pression etc.).

En outre, les seules statistiques produites à ce sujet sont issues de campagnes de comptages effectuées sur des périodes variables au cours de l'année et à la

Per integrare la raccolta dei dati sui flussi di sostanze pericolose, sono stati raccolti altri dati dal CYPRES che riguardano la quantità delle sostanze pericolose trasportate all'interno della regione PACA per la valutazione dei flussi in ingresso e in uscita.

Per il 2003, la quantità di sostanze pericolose trasportate è la seguente :

- In uscita: 1.707.001 tonnes ;
- In entrata : 402.983 tonnes ;
- intraregionale : 4.822.581 tonnes.

Ciò nonostante, i dati forniti dalle autorità sono anch'essi molto aggregati e non permettono altro se non riconoscere le grandi famiglie di sostanze pericolose trasportate (Sostanze liquide infiammabili, Sostanze corrosive, Gas compressi, liquefatti o disciolti sotto pressione etc.).

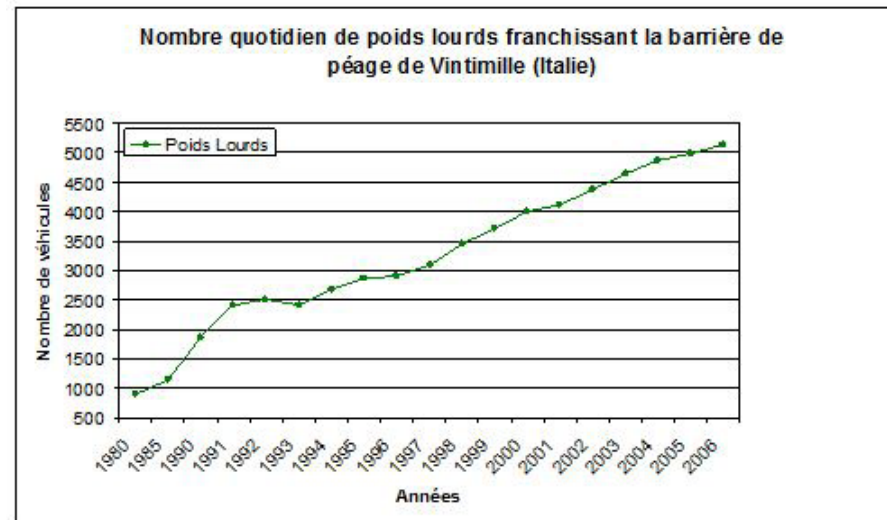
Inoltre, le soglie statistiche prodotte a questo riguardo sono risultate da campagne di conteggio fatte su dei periodi variabili nel corso dell'anno e su informazioni

date da diversi attori come le società autostradali, le collettività territoriali o i servizi di Stato. I risultati mostrano così che il trasporto di sostanze pericolose su strada rappresenta circa il 5% dei flussi di merci convogliate dai mezzi pesanti secondo le fonti statistiche sull'asse considerato.

La figura 9 presenta le statistiche di contabilizzazione messe a punto dalla società autostradale francese ESCOT riguardo al numero e alle categorie dei veicoli che passano il casello di Ventimiglia (Italia). Queste cifre mostrano che sono più di 5.000 i mezzi pesanti che attraversano giornalmente questo casello e questo dato tende ad aumentare da più di 20 anni.

charge des différents acteurs tels que les sociétés d'autoroute, les collectivités territoriales ou les services de l'Etat. Les résultats montrent ainsi que le transport de matières dangereuses sur route représente environ 5% des flux de marchandises convoyées par les poids lourds selon les sources statistiques sur l'axe considéré.

La figure 9 présente les statistiques des comptages effectués par la société française d'autoroute ESCOTA concernant le nombre et les catégories de véhicules franchissant la barrière de péage de Vintimille (Italie). Ces chiffres montrent que ce sont plus de 5.000 poids lourds par jour qui franchissent cette barrière de péage et la tendance est à l'augmentation depuis plus de 20 ans.

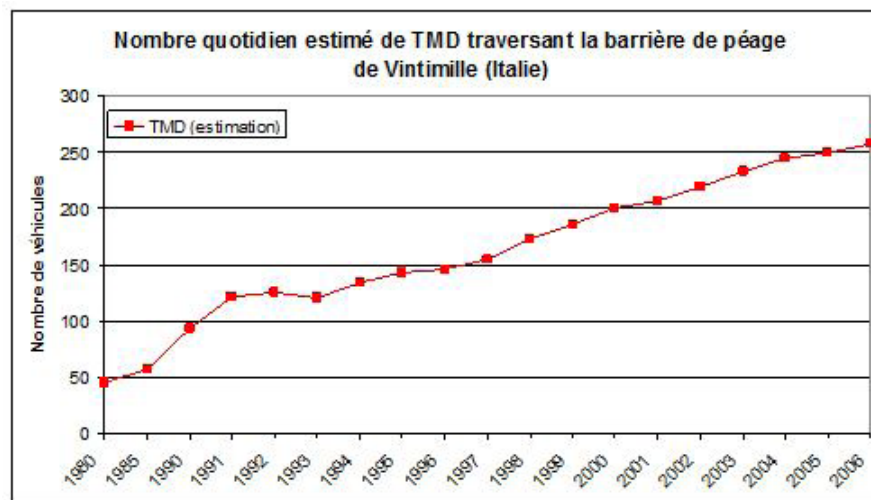


Evoluzione del traffico giornaliero di mezzi pesanti tra la Francia e l'Italia al casello di Ventimiglia :le cifre mostrano una crescita costante dei flussi di mezzi pesanti da 20 anni (sito della Union Routière de France, 2008)

Evolution du trafic journalier de poids lourds entre la France et l'Italie à la barrière de péage de Vintimille : ces chiffres montrent une croissance constante des flux de poids lourds depuis 20 ans (site de l'Union Routière de France, 2008)

En se fondant sur une base de 5% de véhicules transportant des matières dangereuses (pourcentage moyen donné par les statistiques issues des campagnes de comptage sur le poste de La Turbie – Alpes Maritimes), le nombre de véhicules TMD qui franchiraient la barrière de péage de Vintimille serait de 250 par jour (figure, soit environ 6.500 véhicules TMD par mois ou encore 78.000 véhicules TMD par an, en excluant les jours d'interdiction de passage des poids lourds (dimanche)).

Basandosi su una base del 5% dei veicoli che trasportano sostanze pericolose (percentuale media fornita dalle statistiche venute fuori dalle campagne di conteggio nelle stazioni di La Turbie – Alpi Marittime), il numero di veicoli TMP che attraverserebbero il casello di Ventimiglia sarebbe di 250 al giorno (figura, cioè circa 6.500 veicoli TMP al mese o, ancora, 78.000 veicoli TMP per anno, escludendo i giorni di divieto di passaggio dei mezzi pesanti (domenica)).



Stima del numero di TMP che transitano quotidianamente sul casello di Ventimiglia (Italia) nel 1980 e nel 2005. Su questo territorio il numero di TMP è in costante aumento fino a raggiungere i 250 veicoli al giorno

Estimation du nombre de TMD transitant quotidiennement sur la barrière de péage de Vintimille (Italie) en 1980 et 2005. Sur ce territoire le nombre de TMD est constamment en augmentation pour atteindre 250 véhicules par jours

Par ailleurs, concernant les destinations finales depuis l'Italie vers la France, il est intéressant de noter que 39% des poids lourds (toute catégorie confondue) se rendent en PACA et en Languedoc-Roussillon, et que 57% des véhicules se rendent vers l'Espagne et le Portugal, les flux dirigés vers l'Europe du Nord sont pratiquement inexistantes.

Toutefois, il est important de comprendre que ces chiffres proviennent d'estimations issues de comptages réalisés sur une très courte période de

D'altronde, riguardo alle destinazioni finali dall'Italia verso la Francia, è interessante notare che il 39% dei mezzi pesanti (ogni categoria è mischiata) si dirige verso il dipartimento PACA e il Languedoc-Roussillon e che il 57% dei veicoli si dirige verso la Spagna e il Portogallo, i flussi diretti verso il Nord Europa sono praticamente inesistenti.

Ciò nonostante, è importante capire che queste cifre derivano da stime venute fuori da conteggi realizzati in un periodo molto breve di solo pochi giorni (sette

giorni di conteggio per il luogo di La Turbie) e per poche ore (es.dalle 9h00 alle 11h00 l' 8 settembre 2003, dalla 22h00 all'1h15 il 9 settembre 2003 etc.). Questi conteggi non rappresentano se non molto parzialmente i flussi di TMP, cosa che costituisce un freno per la conoscenza del rischio relativo ai TMP sul territorio esaminato. Uno dei punti trattati, riguarda quindi lo sviluppo di strumenti di supporto alla conoscenza e di suivi di flussi di TMP su strada fondati sulle Nuove Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione.

Il punto seguente, propone un modello generale per valutare e ridurre la vulnerabilità di un territorio di fronte al rischio legato all'attività di trasporto delle merci pericolose su strada.

quelques jours (sept jours de comptage pour le site de La Turbie) et sur quelques heures (ex : de 9h00 à 11h00 pour le 8 septembre 2003, de 22h00 à 1h15 pour le 9 septembre 2003 etc.). Ces comptages ne représentent que très partiellement les flux de TMD, ce qui constitue un frein pour la connaissance du risque relatif aux TMD sur le territoire étudié. Un des points traités concerne donc le développement d'outils pour l'aide à la connaissance et de suivi des flux de TMD sur route fondés sur les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication.

Le point suivant propose un modèle général pour évaluer et réduire la vulnérabilité d'un territoire face au risque lié à l'activité du transport des marchandises dangereuses sur route.

5_ PROPOSITION D'UNE DÉFINITION DE LA VULNÉRABILITÉ TERRITORIALE FACE AU RISQUE DE TMD SUR ROUTE

Les précédents paragraphes constituent une introduction autour du risque lié au transport de marchandises dangereuses sur route, notamment par l'exploitation de statistiques sur les flux de TMD sur le territoire concerné. L'ensemble de ces informations apporte ainsi des éléments pour tenter d'appréhender la vulnérabilité du territoire au travers de la vulnérabilité des enjeux qui le constituent. Il ressort de ces données que le territoire étudié :

- Est parcouru par un flux en constante augmentation de poids lourds dont environ 5% d'entre eux représente des TMD de différentes natures ;
- Est soumis à la réglementation internationale en vigueur concernant les TMD du point de vue des pratiques de transport ;
- Est exposé à des phénomènes dangereux de type BLEVE, UVCE et des rejets toxiques atmosphériques relatifs aux différentes matières dangereuses en transit ;
- A connu des accidents de TMD sur ses routes et ses autoroutes jusqu'à présent sans grandes conséquences majeures ;
- Ne peut pas être précisément décrit au niveau de ses flux de TMD par les statistiques émises par les autorités et les sociétés d'autoroute ;
- Présente de grandes agglomérations urbaines, des activités économiques et industrielles, des infrastructures de transport particulièrement sensibles aux accidents (tunnels, viaducs), ainsi qu'un contexte naturel remarquable, l'ensemble de ces éléments étant traversé par des flux de TMD ;
- N'abrite pas d'organisme, public ou privé, centralisant les informations sur les flux de TMD et ne dispose pas d'une politique commune transfrontalière pour la gestion du trafic et des risques associés aux TMD.

Une définition de la vulnérabilité dans un récent article (Garbolino et al., 2009) et un chapitre d'ouvrage (Garbolino, 2009 accepté pour publication) a été formulée dans le but de proposer un cadre d'étude de la vulnérabilité du territoire qui soit suffisamment complet et généralisable. Cette définition a aussi été conçue dans le but de représenter dans l'espace la vulnérabilité du territoire sous la forme de cartes pouvant être utilisées par différents décideurs et selon des situations

5_ PROPOSTA DI UNA DEFINIZIONE DELLA VULNERABILITÀ TERRITORIALE DI FRONTE AL RISCHIO DI TMP SU STRADA

I paragrafi precedenti costituiscono un'introduzione circa il rischio legato al trasporto di merci pericolose su strada, soprattutto per l'uso delle statistiche dei flussi di TMP sul territorio preso in esame. L'insieme di queste informazioni fornisce così degli elementi per cercare di capire la vulnerabilità del territorio attraverso la vulnerabilità degli esposti che la costituiscono. Da questi dati si nota che il territorio preso in esame:

- È percorso da un flusso in costante aumento di mezzi pesanti di cui circa il 5% è formato da TMP di varia natura ;
- È sottoposta alla regolamentazione internazionale in vigore sul TMP dal punto di vista delle pratiche di trasporto ;
- È esposta a dei fenomeni pericolosi di tipo BLEVE, UVCE e di rifiuti tossici atmosferici relativi alle diverse sostanze pericolose in transito ;
- Ha avuto degli incidenti di TMP sulle sue strade e autostrade senza, fino a oggi, gravi conseguenze ;
- Non può essere descritto precisamente a livello dei suoi flussi di TMP dalle statistiche emanate dalla autorità e società autostradali ;
- Presenta grandi agglomerazioni urbane, attività economiche e industriali, infrastrutture di trasporto particolarmente sensibili agli incidenti (tunnel, viadotti), così come un contesto naturale di valore: l'insieme di questi elementi è attraversato dai flussi di TMP ;
- Non vi sono degli enti, pubblici o privati, che centralizzano le informazioni sui flussi di TMP e non dispone di una politica comune transfrontaliera per la gestione del traffico e dei rischi associati al TMP.

Una definizione della vulnerabilità in un articolo recente (Garbolino et al., 2009) e un capitolo di apertura (Garbolino, 2009 accettato per essere pubblicato) è stato formulato al fine di proporre un quadro d'insieme di studio della vulnerabilità del territorio che sia sufficientemente completo e generalizzabile. Anche questa definizione è stata concepita al fine di rappresentare nello spazio la vulnerabilità del territorio sotto forma di mappe che possono essere utilizzate da

diversi decisori e secondo delle situazioni variabili come la gestione della crisi o la maîtrise dell'urbanizzazione.

La rappresentazione cartografica della vulnerabilità del territorio consiste così nell'elaborare un indice di vulnerabilità, che dipende dalle informazioni di ordine spaziale disponibili di cui è presentata una dimostrazione.

La definizione della vulnerabilità del territorio proposta è fondata anche sui sei criteri presentati qua sotto:

$V_{\text{territorio}} = f(I, F, S, R, fR, fA)$

dove

I = Intensità del fenomeno pericoloso considerato (flusso termico, sovrappressioni etc.). Dipende in gran parte dalla distanza del fenomeno in rapporto con gli esposti e con la natura delle merci trasportate.

F = Frequenza di comparsa del rischio sul territorio considerato. Può essere valutata a partire dai dati d'incidentalità et/ou dalla valutazione della probabilità di ipotesi di incidente.

S = Sensibilità (vulnerabilità biofisica) degli esposti di fronte ai fenomeni pericolosi considerati. Questo parametro dipende dalla natura degli esposti, ecc.

R = Resilienza intrinseca degli esposti di fronte ai fenomeni pericolosi considerati. Dipende soprattutto dalla dinamica dell'evento e dallo stato iniziale dell'esposto.

fR = Fattori di resilienza che permettono agli esposti di ritornare a uno stato vicino a quello considerato prima della manifestazione del fenomeno pericoloso. Può trattarsi di vicinanza ai centri di soccorso, della buona gestione delle operazioni di soccorso, del ricorso all'indennizzo per i beni, alla messa in opera di azioni di disinquinamento dei suoli e delle acque ecc.

fA = Fattori di aggravamento del fenomeno pericoloso considerato. Può avere effetti domino su strutture che, a loro volta, provocano dei fenomeni pericolosi (incendi, esplosioni, rilasci tossici etc.), possono provocare la paralisi delle vie di comunicazione, o, inoltre, la contaminazione delle fonti vitali (rete d'acqua potabile, colture ecc.).

I diversi criteri che permettono di caratterizzare la vulnerabilità di un territorio, devono essere presi in considerazione nella loro dinamica spazio-temporale sul territorio considerato. Per questa ragione, il modello di riduzione della vulnerabilità, deve tenere in considerazione le informazioni trasmesse in tempo reale e statistiche. In questo cadre, questo modello di riduzione della

variables telles que la gestion de crise ou la maîtrise de l'urbanisation.

La représentation cartographique de la vulnérabilité du territoire consiste ainsi à élaborer un indice de vulnérabilité, dépendant des informations à référence spatiales disponibles, dont une application est présentée.

La définition de la vulnérabilité du territoire proposée repose ainsi sur six critères présentés ci-dessous :

$V_{\text{territoire}} = f(I, F, S, R, fR, fA)$

où

I = Intensité du phénomène dangereux considéré (flux thermique, surpressions etc.). Elle dépend en grande partie de la distance du phénomène par rapport aux enjeux exposés et de la nature des marchandises transportées.

F = Fréquence d'apparition de l'aléa sur le territoire considéré. Elle peut être évaluée à partir des données d'accidentologie et/ou par l'évaluation de la probabilité d'occurrence d'un accident.

S = Sensibilité (vulnérabilité biophysique) des enjeux face au phénomène dangereux considéré. Ce paramètre dépend de la nature des enjeux etc.

R = Résilience intrinsèque des enjeux face aux phénomènes dangereux considérés. Elle dépend notamment de la dynamique de l'événement et de l'état initial de l'enjeu.

fR = Facteurs de résilience qui permettent aux enjeux exposés de retourner à un état proche de celui considéré avant la survenue du phénomène dangereux. Il peut s'agir de la proximité de centres de soins, de la bonne conduite des actions de secours, du recours au dédommagement pour les biens, de la mise en œuvre d'opérations de dépollution des sols et des eaux etc.

fA = Facteurs d'aggravation du phénomène dangereux considéré. Il peut s'agir d'effets domino sur des structures provoquant à leur tour des phénomènes dangereux (incendies, explosions, rejets toxiques etc.), de la paralysie des voies de communication, ou encore de la contamination de ressources vitales (réseau d'eau potable, cultures etc.).

Les différents critères permettant de caractériser la vulnérabilité d'un territoire doivent être pris en compte dans leur dynamique spatio-temporelle sur le territoire considéré. Pour ces raisons, le modèle de réduction de la vulnérabilité doit prendre en compte des informations transmises en temps réel et statistiques. Dans ce cadre, ce modèle de réduction de la vulnérabilité représente un

premier élément fondateur pour la mise en œuvre d'un futur outil à destination des décideurs, à savoir un Système d'Aide à la Décision à Référence Spatiale (SADRS) partagé. Compte-tenu des spécificités du territoire en termes de flux de marchandises dangereuses, de risques d'accidents, de phénomènes dangereux et de la vulnérabilité des enjeux exposés, ce SADRS dédié à la réduction de la vulnérabilité territoriale tente de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les principaux flux de marchandises dangereuses sur l'axe Nice – Imperia – Savona, leur nature, leurs parcours etc. ?
- Quels sont les risques d'accidents de TMD sur un parcours déterminés en considérant des informations statistiques et acquises en temps réel, dans un but de planification rapide des parcours pour réduire le risque à la source ?
- En considérant que risque et vulnérabilité sont intimement liés, quels sont enjeux susceptibles d'être vulnérables selon les différents phénomènes dangereux se produisant à la suite d'un accident de TMD de type M ;
- Enfin, dans quelle mesure les déplacements de marchandises dangereuses peuvent être planifiés sur un territoire en tenant compte du risque d'accident et du degré d'exposition des enjeux, et comment tenir compte de la vulnérabilité du territoire en situation de crise?

vulnérabilité représente un premier élément fondant pour la mise en œuvre d'un futur outil utile aux décideurs, c'est-à-dire un Système de Support aux Décisions à Référence Spatiale (SADRS) partagé. Compte-tenu des spécificités du territoire en termes de flux de marchandises dangereuses, de risques d'accidents, de phénomènes dangereux et de la vulnérabilité des enjeux exposés, ce SADRS dédié à la réduction de la vulnérabilité territoriale tente de répondre aux questions suivantes :

- Quali sono i principali flussi di merci pericolose sull'asse Nizza – Imperia – Savona, la loro natura, i loro percorsi ecc.?
- Quali sono i rischi di incidenti di TMD su un determinato percorso considerando le informazioni statistiche e acquisite in tempo reale, al fine della pianificazione rapida dei percorsi per ridurre il rischio alla fonte?
- Considerando che il rischio e la vulnerabilità sono intimamente legati, quali sono gli esposti suscettibili di essere vulnerabili secondo i differenti fenomeni pericolosi che si producono dopo un incidente di TMD di tipo M;
- Infine, in quale misura gli spostamenti di merci pericolose possono essere pianificati su un territorio tenendo conto del rischio di incidente e del grado di esposizione degli esposti, e come tener conto della vulnerabilità del territorio in situazione di crisi?

6_ UTILIZZO DELLA VULNERABILITÀ DEL TERRITORIO COME CRITERIO PER LA SCELTA DEI PERCORSI IN SITUAZIONE DI CRISI

Obiettivo di questa parte è di proporre un'applicazione del modello di vulnerabilità territoriale nel quadro della gestione della crisi nella città di Nizza. Si tratta di una prima applicazione di questo indice di cui l'espressione è $V_{\text{territorio}} = f(I, F, S, R, fR, fA)$ e che mira a testarne la pertinenza. Questo lavoro è quindi ancora a livello embrionale e comprenderà certamente degli sviluppi futuri per migliorarne la formalizzazione e l'uso.

In fase di preparazione o di gestione della crisi, i decisori possono essere accompagnati nello scegliere dei percorsi sostitutivi per evacuare i veicoli come quelli di TMP. Questi percorsi possono eventualmente attraversare delle zone urbanizzate. In questo contesto, l'identificazione di settori urbani particolarmente vulnerabili sembra essere un punto cruciale per la gestione della crisi, più particolarmente per dare maggiore attenzione a quei settori in caso di passaggio di TMP e prepararsi meglio a un eventuale intervento.

Lo scenario esaminato riguarda la chiusura repentina al traffico dell'autostrada A8, in seguito a un allarme che può essere d'ordine naturale o tecnologico, come un incidente di TMP all'uscita della Nizza Saint-Isidore. Se l'A8 resta bloccata nei due sensi a causa dell'ampiezza dell'evento, si formano degli ingorghi con, al loro interno, dei veicoli leggeri, pesanti e di TMP. Le autorità e il gestore dell'autostrada, devono allora evacuare i veicoli bloccati scegliendo degli assi prioritari all'interno della città di Nizza per il transito di TMP verso l'Italia al fine che possano raggiungere gli svincoli di Nizza Nord o dell'Ariane.

A livello delle infrastrutture di trasporto selezionate per il TMP, sono state prese in considerazione solo due assi nello stesso senso a partire dallo svincolo di Nizza Nord e dell'Ariane per facilitare il transito dei mezzi pesanti e permettere ai mezzi di soccorso di intervenire all'occorrenza. La couche « Voies » messa a disposizione

6_ UTILISATION DE LA VULNÉRABILITÉ DU TERRITOIRE COMME CRITÈRE POUR LE CHOIX DE PARCOURS EN SITUATION DE CRISE

L'objectif de cette partie est de proposer une application du modèle de vulnérabilité territoriale dans le cadre de la gestion de crise sur la ville de Nice. Il s'agit d'une première application de cet indice dont l'expression est $V_{\text{territoire}} = f(I, F, S, R, fR, fA)$ et qui vise à en tester la pertinence. Ce travail est donc encore très exploratoire et comprendra certainement des développements futurs pour en améliorer la formalisation et l'usage.

En phase de préparation ou de gestion de crise, les décideurs peuvent être amenés à choisir des parcours de substitution pour évacuer des véhicules tels que des TMD. Ces parcours peuvent éventuellement traverser des secteurs urbanisés. Dans ce contexte, l'identification de secteurs urbains particulièrement vulnérables semble être un point crucial pour la gestion de crise, plus particulièrement pour porter plus d'attention à ces secteurs lors du passage des TMD et mieux se préparer à une éventuelle intervention.

Le scénario étudié concerne l'arrêt brutal du trafic par l'autoroute A8, suite à un aléa pouvant être d'ordre naturel ou technologique, comme un accident de TMD à la sortie de Nice Saint-Isidore. L'A8 étant bloquée dans les deux sens en raison de l'ampleur de l'événement, des bouchons se forment, contenant à la fois des véhicules légers, des poids lourds et des TMD. Les autorités et le gestionnaire d'autoroute doivent alors évacuer les véhicules bloqués en choisissant des axes prioritaires au sein de la ville de Nice pour le transit des TMD vers l'Italie dans le but qu'ils rejoignent les échangeurs de Nice Nord ou de l'Ariane.

Au niveau des infrastructures de transport sélectionnées pour les TMD, seuls les axes ayant deux voies dans le même sens ont été prises en compte à partir de l'échangeur de Nice Nord et de l'Ariane pour faciliter le transit des poids lourds et permettre aux services d'urgence d'intervenir le cas échéant. La couche « Voies »

mise à disposition par la ville de Nice a été utilisée pour sélectionner les parcours répondants à ces contraintes.

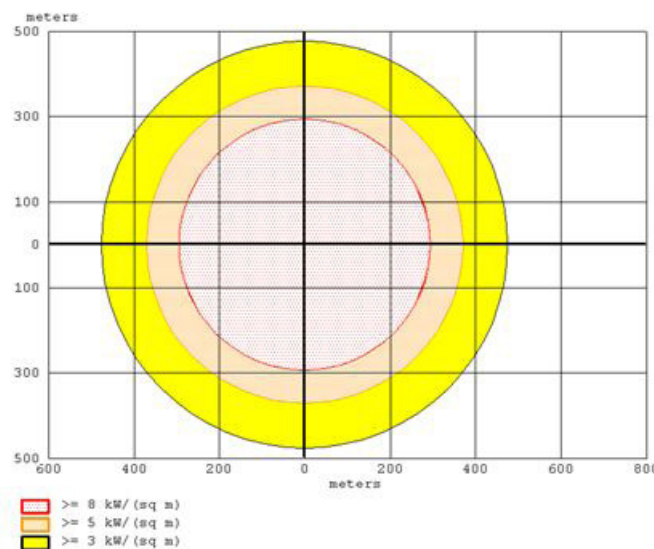
Par ailleurs, comme les hydrocarbures représentent plus de 80% des flux de TMD sur route en PACA (Cyprès, 2007), ce sont les transports de GPL qui servent à dimensionner le scénario d'accident majeur représenté par un BLEVE de propane. Les seuils de vulnérabilité biophysique pris en compte sont de 3, 5 et 8 kW/m² et correspondent respectivement au seuil des effets irréversibles, au seuil des effets létaux et de destruction significative des vitres, et au seuil des premiers effets létaux significatifs avec effets domino sur les structures par propagation d'incendie. Le scénario d'accident potentiel a été calculé pour un véhicule rempli à 80%, c'est-à-dire contenant un volume de 17.3 m³ de GPL. Les distances des effets dangereux selon les seuils précédemment définis ont été évaluées à l'aide du logiciel ALOHA. La figure 11 présente ainsi la forme de l'explosion ainsi que les distances de propagation lors du BLEVE de propane liquéfié.

Le tableau présente les résultats de la simulation du BLEVE avec les distances d'effets selon les seuils, ainsi que la dimension et la durée de la boule de feu engendrée lors de l'explosion.

dalla città di Nizza è stata usata per selezionare i percorsi che corrispondono a questi obblighi.

D'altra parte, siccome gli idrocarburi rappresentano più dell'80% dei flussi di TMP su strada nella regione PACA (Cyprès, 2007), sono i trasportatori di GPL che servono per dimensionare lo scenario d'incidente maggiore rappresentato da un BLEVE di propano. Le soglie di vulnerabilità biofisica prese in considerazione sono di 3, 5 e 8 kW/m² e corrispondono rispettivamente alla soglia degli effetti irreversibili, alla soglia degli effetti letali e di distruzione significativa dei vetri, e alla soglia dei primi effetti letali significativi con effetti domino sulle strutture per propagazione d'incendio. Lo scenario di incidente potenziale è stato calcolato per un veicolo riempito all'80%, cioè contenente un volume di 17.3 m³ di GPL. Le distanze degli effetti pericolosi secondo le soglie definite precedentemente sono state valutate con l'aiuto di un software ALOHA. La figura 11 presenta così la forma dell'esplosione così come le distanze di propagazione in caso di un BLEVE di propano liquefatto.

La tabella presenta i risultati della simulazione del BLEVE con le distanze dell'effetto secondo le soglie, così come la dimensione e la durata della bolla di fuoco generata dall'esplosione.



Rappresentazione grafica della forma et delle distanze di propagazione di un BLEVE secondo le soglie di vulnerabilità biofisica
Représentation graphique de la forme et des distances de propagation d'un BLEVE selon les seuils de vulnérabilité biophysique

Masse	Seuils			boule de feu	
	8 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	diamètre	durée
17.3 m ³	215 m	515 m	586 m	185 m	12 sec

Distanze dei flussi termici secondo le soglie e le caratteristiche della bolla di fuoco a seguito di un BLEVE di propano liquefatto
Distances des flux thermiques selon les seuils et les caractéristiques de la boule de feu lors d'un BLEVE de propane liquéfié

Questo scenario permette di calcolare l'intensità del rischio considerando la sensibilità degli esposti : questi due parametri rappresentano i termini I e S dell'indice di vulnerabilità. Il termine F (frequenza del rischio) si suppone che sia uguale a uno perché, in questo caso, nello scenario viene considerata una sola sostanza pericolosa : nel caso in cui venissero prese in considerazione altre merci pericolose, sarebbe allora utile introdurre la probabilità di accadimento dell'incidente riguardo all'insieme del flusso di TMP.

La determinazione del termine R (resilienza intrinseca degli esposti di fronte ai fenomeni pericolosi considerati) fa qui entrare in gioco l'età e il sesso della popolazione. Queste informazioni sono contenute nel data base « ILOTS » dell'INSEE. I due parametri citati sopra, sono presi in considerazione perché le donne, le persone anziane con più di 60 anni e i bambini con meno di 15 anni, rappresentano una fascia di popolazione particolarmente vulnerabile agli effetti termici in caso di BLEVE. Le persone malate sono ancora più vulnerabili, tuttavia non sono prese in considerazione in questa ipotesi perché sul territorio preso in esame non vi è alcun dato. Sono così considerati come resilienti gli ILOTS che hanno una forte proporzione di uomini e di persone la cui classe di età è tra i 15 e i 60 anni.

Il termine fR (fattori di resilienza) è caratterizzato dalla distanza dei centri di emergenza e della loro tipologia (pompieri e ospedali) in rapporto a un'eventuale zona di incidente su cui si potrebbe manifestare un BLEVE . La scelta di questi centri di soccorso è realizzata per una distanza compresa tra 294 m (distanza superiore agli effetti letali significativi e agli effetti domino sulle strutture) e 1000 m : nel limite inferiore, i centri di soccorso e, soprattutto, il personale, potrebbero essere colpiti dall'esplosione. Tra i 294 m e i 1.000m, tali centri di soccorso sono sufficientemente vicini ai luoghi di incidente per intervenire in tempi brevi. In caso in cui, al contrario, i centri di soccorso non fossero presenti tra i 294 m e i

Ce scénario permet de calculer l'intensité de l'aléa en prenant en compte la sensibilité des enjeux exposés : ces deux paramètres représentent les termes I et S de l'indice de vulnérabilité. Le terme F (fréquence de l'aléa) est supposé égal à un puisque, dans le cas présent, une seule substance dangereuse transportée est considérée dans le scénario : dans le cas où d'autres marchandises dangereuses seraient prises en compte il serait utile alors d'introduire la probabilité d'occurrence d'accident au regard de l'ensemble des flux de TMD.

La détermination du terme R (résilience intrinsèque des enjeux face aux phénomènes dangereux considérés) fait intervenir ici l'âge et le sexe de la population. Ces informations sont contenues dans la base de données « ILOTS » de l'INSEE. Elles sont prises en compte car les femmes, les personnes âgées de plus de 60 ans et les enfants de moins de 15 ans constituent une population particulièrement vulnérable aux effets thermiques en cas de BLEVE. Les personnes atteintes d'une maladie sont encore plus vulnérables mais ils ne sont pas pris en compte dans cette hypothèse car aucune donnée n'est à disposition sur le territoire d'étude. Ainsi, sont considérés comme résilients les ILOTS ayant une forte proportion d'hommes et de personnes dont la classe d'âge se situe entre 15 et 60 ans.

Le terme fR (facteurs de résilience) est caractérisé par la distance des centres de secours et de soins (pompieri et hôpitaux) par rapport à une éventuelle zone d'accident sur laquelle un BLEVE se manifesterait. La sélection de ces centres de secours est réalisée pour une distance comprise entre 294 m (distance supérieure aux effets létaux significatifs et aux effets domino sur les structures) et 1000 m : dans la limite inférieure, les centres de secours et surtout le personnel pourraient être touchés par l'explosion. Entre 294 m et 1.000m, ces services de secours sont suffisamment près du lieu d'accident pour intervenir dans de brefs délais. Dans le cas où des centres de secours ne seraient pas présents entre 294 m et 1.000 m,

il convient de solliciter des centres de secours entre 1.000 m et 4.000 m car leur temps d'intervention reste inférieur à 15 minutes.

Enfin, le terme fA (facteurs d'aggravation) concerne les effets dominos relatifs au BLEVE de propane. Ce facteur est caractérisé en sélectionnant les stations services qui se trouvent dans le périmètre de danger (risque de propagation et d'intensification des phénomènes dangereux) ainsi que les centres de secours et de soins car ces derniers ne pourront pas intervenir. Les ERP (supermarchés, établissements scolaires, hôtels, lieux de culte, centres sportifs etc.) se trouvant également dans le périmètre de danger sont considérés comme des facteurs d'aggravation de la crise puisqu'ils peuvent contenir un grand nombre de personnes exposées à un éventuel accident. Enfin, les ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) qui contiennent des produits dangereux sont aussi sélectionnées dans les ILOTS car la survenue d'un BLEVE peut produire un effet domino sur ces installations.

La caractérisation de la vulnérabilité du territoire, et sa cartographie, reposent sur la définition de trois classes de vulnérabilité (1 = faible ; 2 = moyenne ; 3 = forte) qui dépendent des critères présentés précédemment. La détermination des classes de chacun de ces critères a été déterminée en prenant en compte les valeurs minimales et maximales pour chacun des ILOTS (exprimées en nombre entiers ou en pourcentages). Le tableau suivante présente les variables utilisées pour la caractérisation de la vulnérabilité du territoire pour chacun des ILOTS.

1.000 m, converrebbe sollecitare dei centri di soccorso che si trovano tra i 1.000 m e i 4.000 m poiché il loro tempo di intervento rimane inferiore ai 15 minuti.

Infine, il termine fA (fattori di aggravamento) riguarda gli effetti domino relativi al BLEVE di propano. Questo fattore è caratterizzato selezionando le stazioni di servizio che si trovano nel perimetro del pericolo (rischio di propagazione e d'intensificazione dei fenomeni pericolosi) così come i centri di soccorso e di cura perché questi ultimi non potrebbero intervenire. Gli Stabilimenti a Rischio Potenziale (supermercati, edifici scolastici, hotel, luoghi di culto, centri sportivi ecc.) che si trovano allo stesso modo nel perimetro di pericolo, sono considerati come fattori di aggravamento della crisi perché possono contenere un gran numero di persone esposte a un eventuale incidente. Infine, le ICPE (Installazioni censite per la salvaguardia dell'ambiente) che contengono dei prodotti pericolosi, sono anch'esse selezionate nelle ILOTS perché il sopravvenire di un BLEVE può produrre un effetto domino su di esse.

La caratterizzazione della vulnerabilità del territorio, e la sua cartografia, si fondono sulla definizione di tre classi di vulnerabilità (1 = debole ; 2 = media ; 3 = alta) che dipendono dai criteri presentati precedentemente. La determinazione delle classi di ciascuno di questi criteri è stata fatta tenendo conto dei valori minimali e massimali di ciascun ILOTS (espressi in numero intero o in percentuale). La tabella seguente presenta le variabili utilizzate per la caratterizzazione della vulnerabilità di un territorio per ciascun ILOTS.

Variabili dei Fattori di aggravamento (f_a)	Classi di Fattori di Aggravamento (f_a)		
	1 = faible	2 = moyenne	3 = forte
% di donne	≤ 33	34 - 66	67 - 100
% di persone con meno di 15 anni	≤ 12.5	12.5 - 25	50
% di persone con più di 60 anni	≤ 33	34 - 66	67 - 100
Numero di ERP	≤ 8	8 - 16	16 - 24
Numero di Stazioni di Servizio	0	1	2
Numero di ICPE	≤ 1	2	3 - 4
Numero di centri di soccorso nell'ILOT	0	1	2
Classi de Resilienza intrinseca (R)			
Variabili di Resilienza intrinseca (R)	1 = debòle	2 = media	3 = alta
% di persone di età compresa tra i 15 e i 60 anni	≤ 33	34 - 66	67 - 100
% di uomini	≤ 33	34 - 66	67 - 100
Classi dei Fattori di Resilienza (f_r)			
Variabili dei Fattori di resilienza (f_r)	1 = debòle	2 = media	3 = alta
Distanza dai centri di soccorso (in metri)	> 4.000	1.000 - 4.000	294 - 1.000

Variabili e classi utilizzate per la caratterizzazione della vulnerabilità del territorio

I fattori di aggravamento della vulnerabilità del territorio sono calcolati per ciascuno degli ILOTS della città di Nizza, indipendentemente dal tipo di rischio considerato e dagli itinerari di deviazione scelti. Costituiscono anche un valore costante per ogni ILOT. La stessa cosa vale per i valori relativi alla resilienza intrinseca. È anche possibile calcolare la vulnerabilità intrinseca vl di ogni ILOT della città di Nizza applicando la formula seguente :

$$vl = fA - R.$$

Al momento della scelta degli itinerari alternativi, conviene calcolare la presenza di centri di soccorso vicino agli ILOTS ma al di fuori delle distanze delle soglie degli effetti letali significativi. Questo calcolo permette di determinare i fattori di resilienza. D'altra parte, il fattore di aggravamento è completato dall'attribuzione dei centri di soccorso esposti a un BLEVE ma di cui i limiti geografici dell'ILOT considerato sono inferiori a quelli degli effetti letali significativi. Questo aspetto permette anche di precisare il valore di vulnerabilità degli ILOTS a seconda degli itinerari e dei fenomeni pericolosi considerati. La seguente espressione dà il calcolo della vulnerabilità territoriale di ciascuno degli ILOTS considerata,

Variables de Facteurs d'aggravation (f_a)	Classes de Facteurs d'Aggravation (f_a)		
	1 = faible	2 = moyenne	3 = forte
% de Femme	≤ 33	34 - 66	67 - 100
% de personne de -15 ans	≤ 12.5	12.5 - 25	50
% de personne de + de 60 ans	≤ 33	34 - 66	67 - 100
Nombre d'ERP	≤ 8	8 - 16	16 - 24
Nombre de Stations Services	0	1	2
Nombre d'ICPE	≤ 1	2	3 - 4
Nombre de centres de secours dans l'ILOT	0	1	2
Classes de Résilience intrinsèque (R)			
Variables de Résilience intrinsèque (R)	1 = faible	2 = moyenne	3 = forte
% de personne d'âge compris entre 15-60 ans	≤ 33	34 - 66	67 - 100
% d'homme	≤ 33	34 - 66	67 - 100
Classes de Facteurs Résilience (f_r)			
Variables de Facteurs de résilience (f_r)	1 = faible	2 = moyenne	3 = forte
Distance des centres secours (en mètres)	> 4.000	1.000 - 4.000	294 - 1.000

Variables et classes utilisées pour la caractérisation de la vulnérabilité du territoire

Les facteurs d'aggravation de la vulnérabilité du territoire sont calculés pour chacun des ILOTS de la ville de Nice, indépendamment du type d'aléa considéré et des itinéraires de substitution choisis. Ils constituent ainsi une valeur constante pour chaque ILOT. Il en va de même pour les valeurs relatives à la résilience intrinsèque. Il est ainsi possible de calculer la vulnérabilité intrinsèque vl de chaque ILOT de la ville de Nice en appliquant la formule suivante :

$$vl = fA - R.$$

Lors de la sélection des itinéraires de substitution il convient de calculer la présence de centres de secours à proximité des ILOTS mais en dehors des distances des seuils des effets létaux significatifs. Ce calcul permet de déterminer les facteurs de résilience. Par ailleurs, le facteur d'aggravation est complété par l'attribution des centres de secours exposés à un BLEVE mais dont les limites géographiques de l'ILOT considéré sont inférieures à celles des effets létaux significatifs. Cet aspect permet ainsi de préciser la valeur de vulnérabilité des ILOTS selon les itinéraires et les phénomènes dangereux considérés. L'expression suivante donne le calcul de la vulnérabilité territoriale de chacun des ILOTS considéré selon les itinéraires

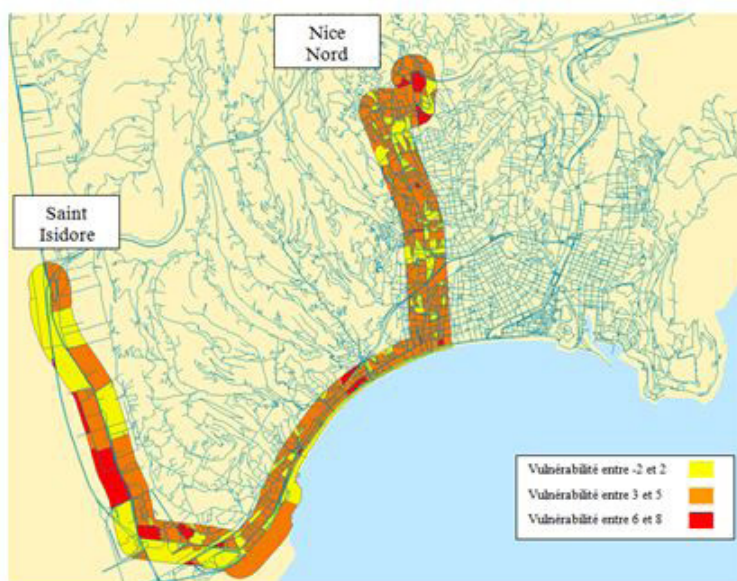
de substitution empruntés par les TMD :

$$V_{\text{territoire}} = fA - [fR + R]$$

Ensuite, à l'aide du SIG ArcMap®, les niveaux de vulnérabilité de chacun des ILOTS parcourus par les trajets de substitution sont identifiés à l'aide d'un code de couleurs. Les valeurs de vulnérabilité vont de -2 à 8 pour les deux itinéraires. Les classes de couleurs sont ainsi réparties :

- Vulnérabilité faible de, -2 à 2 ;
- Vulnérabilité moyenne, de 3 à 5 ;
- Vulnérabilité forte, de 6 à 8.

Les deux cartes suivantes illustrent ces résultats concernant deux parcours pris sur un échantillon de 18 itinéraires possibles. Ces parcours correspondent respectivement à deux trajets permettant aux TMD de rejoindre l'Italie en prenant l'axe Saint Isidore – Nice Nord ou l'axe Saint Isidore – l'Ariane.



Itinerario di sostituzione con origine in Saint Isidore e destinazione Nizza Nord
Itinéraire de substitution ayant pour origine Saint Isidore et pour destination Nice Nord

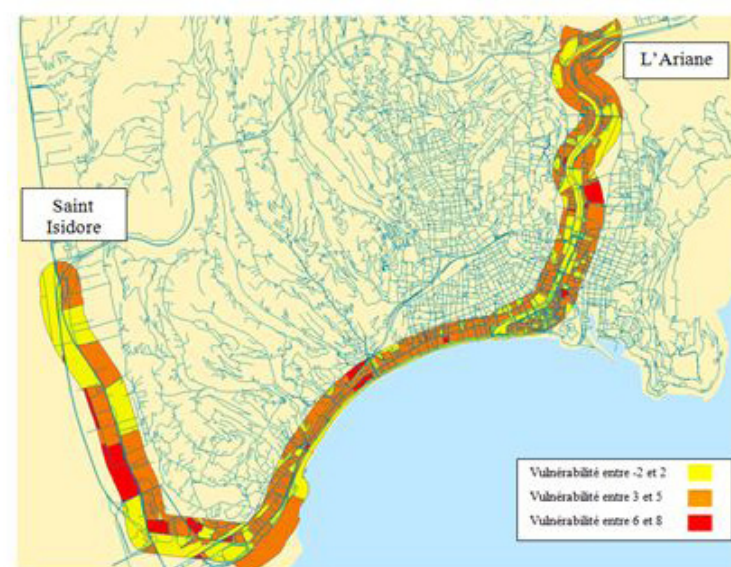
secondo gli itinerari alternativi utilizzati dal TMP :

$$V_{\text{territorio}} = fA - [fR + R]$$

Poi, con l'aiuto del SIG ArcMap®, vengono identificati i livelli di vulnerabilità di ciascuno degli ILOTS percorsi dal tragitto alternativo con il supporto di un codice a colori. I valori di vulnerabilità vanno da -2 a 8 per i due itinerari. Le classi di colore sono così ripartite:

- Vulnerabilità debole da, -2 a 2 ;
- Vulnerabilità media, da 3 a 5 ;
- Vulnerabilità alta, da 6 a 8.

Le due seguenti mappe, mostrano questi risultati, i quali riguardano due percorsi presi su un campione di 18 itinerari possibili. Questi percorsi corrispondono rispettivamente a due tragitti che permettono di raggiungere l'Italia prendendo l'asse Saint Isidore – Nizza Nord o l'asse Saint Isidore – l'Ariane.



Itinerario di sostituzione con origine in Saint Isidore e destinazione Ariane
Itinéraire de substitution ayant pour origine Saint Isidore et pour destination Ariane

É possibile confrontare questi due itinerari sulla base del criterio della vulnerabilità territoriale totale media : corrisponde alla somma della vulnerabilità totale di ogni ILOT per il percorso selezionato diviso per il numero di ILOTS. Questo calcolo è realizzato secondo l'espressione :

$$V_{Media} = \frac{\sum_i^n V_{territorio}(ILOTS)}{n}$$

per ogni ILOT da i a n.

Per il primo itinerario, la somma è uguale a 1.211 e a 1.366 per il secondo. Il numero di ILOTS è uguale a 427 per il primo itinerario e a 517 per il secondo. Questa differenza è indotta dalla lunghezza dei tragitti : l’itinerario Saint Isidore – Nizza Nord si estende su 14.424 e quello che va da Saint Isidore all’Ariane su 16.938 m. Facendo ora il calcolo della vulnerabilità media, si scopre che il primo itinerario produce una vulnerabilità maggiore rispetto al secondo, cioè rispettivamente 2.84 e 2.64, anche se la differenza non è molto grande. Conviene quindi analizzare più precisamente i risultati relativi a questi due esperimenti.

L’analisi degli esposti esposti alle conseguenze di un LEVE per questi due percorsi, dimostrano bene che il primo itinerario sembra più esposto che il secondo in ragione, evidentemente, del numero di donne, bambini e anziani (tabella).

Il est possible de comparer ces deux itinéraires sur la base du critère de vulnérabilité territoriale totale moyenne : il correspond à la somme de la vulnérabilité totale de chaque ILOT pour le parcours sélectionné divisé par le nombre d’ILOTS. Ce calcul est réalisé selon l’expression :

$$V_{Moyenne} = \frac{\sum_i^n V_{territoire}(ILOTS)}{n}$$

pour tout ILOT de i à n.

Pour le premier itinéraire, la somme est égale à 1.211 et à 1.366 pour le second. Le nombre d’ILOTS est égal à 427 pour le premier itinéraire et à 517 pour le second. Cette différence est induite par la longueur des trajets : l’itinéraire Saint Isidore – Nice Nord s’étend sur 14.424 et celui allant de Saint Isidore à l’Ariane sur 16.938 m. En procédant au calcul de la vulnérabilité moyenne, il apparaît que le premier itinéraire engendre une plus grande vulnérabilité que le second itinéraire, soit respectivement 2.84 et 2.64, même si cette différence n’est pas très grande. Il convient donc d’analyser plus précisément les résultats relatifs à ces deux itinéraires.

L’analyse des enjeux exposés aux conséquences d’un BLEVE pour ces deux parcours, montre bien que le premier itinéraire semble plus exposé que le second en raison notamment du nombre de femmes, d’enfants et de personnes âgées (tableau).

Itinéraires Itinearario	Homme Uomini	Femme Donne	Age Età
1	87 408	106 026	- 15ans: 22 176 +60 ans: 49 912
2	83 304	93 810	- 15ans: 21 899 +60 ans: 37 702

Stima degli esposti esposti a un BLEVE per i 2 itinerari studiati
Estimation des enjeux exposés à un BLEVE pour les 2 itinéraires étudiés

Mais ce dénombrement ne suffit pas à lui seul pour expliquer les résultats car il est possible d'imaginer être en présence d'une concentration importante de population dans un ILOT donné et que ce dernier soit moins vulnérable qu'un ILOT moins peuplé en raison de l'absence de facteurs d'aggravation par exemple.

Il convient ainsi de compléter cette étude par l'analyse du pourcentage d'ILOTS répartis selon leur classe de vulnérabilité pour chaque itinéraire. Le tableau 2.14 présente ces pourcentages en reprenant les trois classes de vulnérabilité territoriale figurant dans les deux cartes. Cette analyse montre que l'itinéraire 1 possède un plus grand pourcentage d'ILOTS dans la deuxième classe de vulnérabilité. Cette différence est moins nette pour la troisième classe de vulnérabilité.

Questo conteggio non è però sufficiente per spiegare da solo perché è possibile immaginare di essere in presenza di una concentrazione importante della popolazione in un ILOT dato e che quest'ultimo sia meno vulnerabile di un ILOT meno popolato in ragione, per esempio, dell'assenza di fattori di aggravamento.

Conviene così completare questo studio con l'analisi della percentuale di ILOTS ripartita secondo le proprie classi di vulnerabilità per ogni itinerario. La tabella 2.14 presenta queste percentuali riprendendo le tre classi di vulnerabilità territoriale che figurano nelle due mappe. Questa analisi mostra che l'itinerario 1 ha una maggiore percentuale di ILOTS nella seconda categoria di vulnerabilità. Questa differenza è meno netta per la terza categoria di vulnerabilità.

Itinéraire 1 (Saint Isidore – Nice Nord)		
Classes de vulnérabilité Classe di vulnerabilità	Nombre d'ILOTS Numero di ILOT	%
1	111	26
2	301	70.5
3	15	3.5
Itinéraire 2 (Saint Isidore – l'Ariane)		
Classes de vulnérabilité	Nombre d'ILOTS	%
1	178	34.4
2	323	62.5
3	16	3.1

*Percentuali di ILOTS divisi secondo il loro livello di vulnerabilità per ciascuno dei due itinerari
Pourcentages d'ILOTS répartis selon leur niveau de vulnérabilité pour chacun des deux itinéraires*

La cartographie des ILOTS selon leur niveau de vulnérabilité permet ainsi de sélectionner les itinéraires exposant le moins les enjeux aux conséquences d'aléas. Elle permet aussi d'identifier les secteurs particulièrement vulnérables sur l'itinéraire emprunté : pour l'itinéraire 1, le quartier Nice Nord est particulièrement vulnérable en raison de la présence de deux centres de secours, de deux stations services, d'ERP pouvant accueillir un grand nombre de personnes (Stade du Ray) et d'enfants (écoles et maternelles) et un grand nombre de personnes en raison de la proximité d'HLM.

La cartografia degli ILOTS secondo il loro livello di vulnerabilità permette così di selezionare gli itinerari esponendo il meno possibile gli esposti alle conseguenze del rischio. Permette anche di identificare i settori particolarmente vulnerabili sull'itinerario scelto: per l'itinerario 1, il quartiere Nizza Nord è particolarmente vulnerabile a causa della presenza di due centri di soccorso, di due stazioni di servizio, di ERP che possono contenere un gran numero di persone (Stadio del Ray) e di bambini (scuole e asili) e un gran numero di persone per la vicinanza degli alloggi a canone moderato.

Questa cartografia potrebbe anche essere utilizzata dai decisori in fase di gestione della crisi, in particolare per gli arbitrati relativi alle distanze percorse tra la scelta di un percorso più breve ma che accentua maggiormente la vulnerabilità del territorio rispetto a un altro. Tale identificazione permette alle autorità locali di avere un'idea generale su una serie di scenari e proporre delle diverse strategie per la realizzazione di Piani di Soccorso Specializzati per la gestione della crisi propriamente detta.

Cette cartographie pourrait ainsi être utilisée par les décideurs en phase de gestion de crise, notamment pour des arbitrages relatifs aux distances parcourues entre le choix d'un parcours plus court mais accentuant plus la vulnérabilité du territoire qu'un autre. Une telle identification permet aux autorités locales d'avoir une idée générale sur un lot de scénarios et proposer des stratégies différentes pour la réalisation des Plans de Secours Spécialisés, pour la gestion de crise proprement dite.

BIBLIOGRAFIA | BIBLIOGRAPHIE

Abkowitz M., Der-Ming Cheng P., 1988.- Developing a risk/cost framework for routing truck movements of hazardous materials. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 20, Issue 1: 39-51.

Akgün V., Parekh A., Batta R., Rump C.M., 2007.- Routing of a hazmat truck in the presence of weather systems. *Computers & operations research*, vol. 34: 1351-1373.

Ale B.J.M., 2002.- Risk assessment practices in the Netherlands. *Safety Science*, vol. 40: 105-126.

Ang A. and Briscoe J. 1989.- Development of a systems risk methodology for single and multimodal transportation systems. Final Report, Office of University Research, US DOT, Washington, DC.

ANPROLENE, 2002.- Ethylene oxide. Material Safety Data Sheet.- 5p.

Atkinson M., Di Mauro C., Nordvik J.P., 2006.- Monitoring the transport by road of hazardous substances and risk reduction: results from an Italian case-study. ERSEL 2006 – Safety and Reliability Conference, 18-22 September 2006 Estoril, Portugal.

Federal Motor carrier Safety Administration, 2001.- Comparative risks of hazardous materials and non-hazardous materials truck shipment accident/incident: final report. Battelle.- 190p.

Baulig A., Doornaert B. et Pichard A., 2005.- Seuils de toxicité aiguë : Acide sulfurique. INERIS.- 59p.

Bell M.G.H. and Cassir C., 2002. Risk-averse user equilibrium traffic assignment: an application of game theory. *Transportation Research, Part B*, vol. 36: 671-681.

Bell M.G.H., 2000. A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks. *Transportation Research, Part B*, vol. 34: 533-545.

Bell M.G.H., 2006. Mixed Route Strategies for the Risk-Averse Shipment of Hazardous Materials. *Networks and Spatial Economics* n° 6: 253–265.

Bellasio R. and Bianconi R., 2005.- On line simulation system for industrial accidents.- *Environnemental Modelling and Management*, vol. 20, Issue 3 : 329-342.

Benza M., Bersani C., Casazza R., Garbolino E., Giglio D., Olampi S., Sacile R. e Trasforini E. 2006.-Definizione, progettazione e realizzazione prototipale di un sistema informativo distribuito per l'identificazione, il monitoraggio e la gestione dei flussi veicolari di merci pericolose - VGR 2006.

Benza M., Bersani C., Garbolino E., Giglio D., Olampi S., Sacile R., Tomasoni A., Trasforini E., 2007.-A distributed information system prototype to define and monitor the Hazardous Material Transport on the road on the territory Nice-Imperia-Ventimiglia- Second International Conference on Safety and Security Engineering, Safe 2007, Malta.

Beroggi G.E.G. and Wallace W.A., 1998.- Operational Risk Management - The integration of Decision, Communicational, and Multimedia technologies. Kluwer Academic Publishers.- 224p.

Bersani C., Casazza R., Garbolino E., Giglio D., Olampi S., Sacile R., and Trasforini E., 2006.- Detection and Monitoring of Hazardous Material Transportation on road between France and Italy: objectives, methodology and first results. *Safety and Reliability for Managing Risk*, C. Guedes Soares & E. Zio Editors, vol. 3: 2659-2666.

Betke M. and Makris N.C., 1995.- Fast object recognition in noisy images using simulated annealing. *Computer Vision. Proceedings, Fifth International Conference*: 523–530.

Bonnard N., Falcy M., Jargot D. et Schneider O., 2006.- Oxyde d'éthylène – Fiche toxicologique. INRS.- 8p.

Bottelberghs P.H., 2000.- Risk analysis and safety policy developments in the Netherlands. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 71: 59–84.

Boulmakoul A., R. Laurini, S. Servigne and Idrissi M.A.J., 1999.- First specifications of a telegeomonitoring system for the transportation of hazardous materials, *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 23: 259-270.

Bourcier J.C. et Mallet P., 2006.- Allocation spatio-temporelle de la population exposée aux risques majeurs : Contribution à l'expologie sur le bassin de risques majeurs de l'estuaire de Seine : Modèle PRETE-RESSE. Numéro Spécial de la Revue Internationale de Géomatique, vol. 16, n°3-4 : 457-478.

Bouzit J., 1998.- Théorie des jeux. Dictionnaire des mathématiques : fondements, probabilités, applications. Albin Michel.- 865p.

Brooks N., 2003.- Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper 38.- 16p.

Brown, D.F. and Dunn, W.E., 2007.- Application of a quantitative risk assessment method to emergency response planning. *Computers & Operations Research*, vol. 34, Issues 5: 1243-1265.

Bubbico R., Di Cave S. and Mazzarotta B., 2004.- Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a simplified approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* vol. 17: 477-482.

Bubbico R., Dore G. and Mazzarotta B., 1998.- Risk analysis study of road transport of ethylene oxide. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* vol. 11: 49-54.

Cabane R., 2000.- Théorie des graphes. Techniques de l'Ingénieur.- 37p.

Carotenuto P., Giordani S. and Ricciarelli S., 2007.- A tabu search approach for scheduling hazmat shipments. *Computers & operations research*, vol. 34: 1328-1350.

Carotenuto P., Giordani S. and Ricciarelli S., 2007.- Finding minimum and equitable risk routes for hazmat shipments. *Computers & Operations Research*, vol. 34: 1304-1327.

Casazza R., Garbolino E., Sacile R., Bersani C., Trasforini E. and Giglio D., 2006.- Detection and Monitoring of Hazardous Material Transportation on road between France and Italy: objectives, methodology and first results, ESREL2006 conference.

Casazza R., Olampi S. and Napoli A., 2006.- A sensor based decision support

system for the hazmat transport risk, UDMS2006 conference.

Castelli L., Longo G., Pesenti R. and Ukovich W., 2004.- Two-Players Noncooperative Games over a Freight Transportation Network. *Transportation Science*, vol.38, No 2, 149-159.

Chang S.L., Chen L.S., Chung Y.C. and Chen S.W., 2004.- Automatic license plate recognition. In *Intelligent Transportation Systems*, IEEE Transactions on, volume 5, pages 42–53, 2004.

Chevallier J.J., 1993.- Systèmes d'aide à la décision à référence spatiale (SADRS) : méthode de conception et de développement. Actes de congrès GIS/SIG'93, Ottawa, 23 -25 mars 1993.

Chevallier J.J., 1994.- Système d'aide à la décision à référence spatiale. *MoSIT*, no.2, pp. 11-15, 1994.

Chevallier J.J. et Caron C., 2002.- Développement d'infrastructures géomatiques : déterminisme technologique ou approche holistique. *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Application*, Ottawa 2002.

Connor S., 2005.- Britain will be first country to monitor every car journey, 22 December 2005, *The Independent Online Edition*.

Contini S., Bellezza F., Cvristou M.D. and Kirchsteiger C., 2000.- The use of geographic information system in major accident risk assessment and management. *Journal of Hazardous materials*, Vol. 78, pp. 223-245.

Couillet J.C., 2002.- Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques

accidentels (DRA-006). Dispersion atmosphérique. (Mécanismes et outils de calcul).- INERIS.- 61p.

Council Directive of 24 June 1982.- On the major-accident hazardous of certain industrial activities (82/501/EEC), *Official Journal of the European Communities* No. L 230, 5.8.1982, as amended by Council Directives 87/216/EEC and 88/610/EEC.

Council Directive of 9 December 1996.- On the major-accident hazardous involving dangerous substances (96/82/EC), *Official Journal of the European Communities* No. L 10, 14.1.1997, pp. 13-33.

Cozzani V., Bonvicini S., Spadoni G. and Zanelli S., 2007.- Hazardous transport: A methodological framework for the risk analysis of marshalling yards. *Journal of Hazardous Materials*, in press.

Crainic T.G. and Laporte G., 1997.- Planning models for freight transportation.- *European Journal of Operational Research*, vol. 97 : 409-438.

Current J. and Ratick S., 1995.- A model to assess risk, equity and efficiency in facility location and transportation of hazardous materials. *Location Science*, Vol.3 (3), pp. 187-201.

Cutter S.L. and Ji, M., 1997.- Trends in U.S. Hazardous Materials Transportation Spill. *The Professional Geographer*, vol. 49, number 3: 318-331.

CYPRES, 2007.- Livre blanc du TMD en PACA.- 190 p.

D'Ercole R. et Metzger P., 2009.- La vulnérabilité territoriale: une nouvelle approche

des risques en milieu urbain. Cybergeog : European Journal of Geography, Dossiers Vulnérabilités urbaines du sud, document 447, mis en ligne le 31 mars 2009. URL : <http://www.cybergeog.eu/index22022.html>.

Debien B., Leclerc T., Clapson P., Perez J.P., Lenoir B. et Pats B., 2006.- Lésions par explosion. Mise Au Point Anesthésie Réanimation : 537-555.

Décret du 3 janvier 2007, publié dans le Journal Officiel n.66 du 20 mars 2007.
Décret du président de la république du 6 juin 2005 n.134, publié dans le Journal Officiel N.163 du 15 juillet 2005.

Décret n° 60-794 publié au Journal Officiel le 22 juin 1960.

Desmarais D. and Trepanier E., 2004.- Aei/ocr system verification. Technical report, DTI Telecom Inc., 2003.

Directive 2006/89/CE de la Commission du 3 novembre 2006, publié dans le Journal Officiel de la Communauté n. L 305 du 4 novembre 2006.

Directive 96/49/CE du Conseil, publiée dans le Journal Officiel de la Communauté européenne n. L 235 le 17 septembre 1996.

Dorer K. and Calisti M., 2005.- An adaptive solution to dynamic transport optimization, AAMAS'05.

Elena L. M., Olampi S. and Guarnieri F., 2004.- Technological risks management: Automatic detection and identification of hazardous material transport trucks, Risk Analysis IV.

Erkut E. and Alp O., 2007.- Designing a road network for hazardous materials shipments. Computers & Operations Research vol. 34: 1389–1405.

Erkut E. and Verter V., 1995.- A framework for Hazardous Materials transports Risk Assessment. Risk Analysis, Vol. 15, Issue 5 : 589-601.
ESCOTA, 2005.- Expérimentation de traçabilité – Transports de matières dangereuses en tunnels, document interne.

Fabiano B., Currò F., Palazzi E. and Pastorino R., 2005.- Dangerous good transportation by road: from risk analysis to emergency planning. Jurnal of Loss Prevention in the process industries, Vol. 18 : 403-413.

Fabiano B., Currò F., Palazzi E. and Pastorino R., 2002.- A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous good transportation. Journal of Hazardous Materials 93 , 1–15.

Frank W.C., Thill J-C and Batta R., 2000.- Spatial decision support system for hazardous material truck routing, Transport research Part C, Vol. 8, pp. 337-359.

Füssel H.M., 2007.- Vulnerability : A generally applicable conceptual framework for climate change research. Global Environmental Change, vol. 17 : 155-167.

Garbolino E., 2009 (accepté pour publication).- One the transposition of the Defence in depth concept to formalize Hazmat Transport security and to mitigate territorial vulnerability.- Security and Environmental Sustainability of Multimodal Transport, IOSH Press.

Garbolino E., Michel P. and Holsapple K., 2009.- Insurance and meteors fall:

proposal of a methodology for estimating the risk and modelling consequences for the insurance sector in France. 1st IAA Planetary Defense Conference: Protecting Earth from Asteroids, 27 - 30 April 2009, Granada, Spain.

Garbolino E., Sacile R., Olampi S., Bersani C., Tomasoni A., Alexandre N., Trasforini E., Benza M., Giglio D., 2007a.- A Spatial Decision Support System prototype for assessing road HAZMAT accident impacts on the population in a dense urban area: a case study of the city of Nice, French Riviera. Chemical Engineering Transactions, Icheap-8 conference, 24-27 june, Ischia.

Garbolino E., Sacile R., Olampi S., Tomasoni A., Bersani C., Alexandre N., Trasforini E., Benza M., Giglio D., 2007b.- Definition of a Spatial Decision Support System for public authorities, civil protection and highway companies dedicated to the crisis management in the case of a Hazmat Transportation road accident in a dense urbanized area in the French Riviera. AIRO 2007, September 5-8, Genoa.

Giglio D., Minciardi R., Pizzorni D., Rudari R., Sacile R., Tomasoni A.M. and Trasforini E., 2003.- Towards a decision support system for real time risk assessment of hazardous material transport on road, Proceeding IEMSS 2004 (International Environmental and Monitoring Software Society): 1-6.

Glickman T.S., 1991.- An Expeditious Risk Assessment of the Highway Transportation of Flammable Liquids in Bulk. Trans.Sci., Vol. 25, Issue 2: 115-123.
Glickman T.S., Erkut E., Zschocke M.S., 2007.- The cost and risk impacts of rerouting railroad shipments of hazardous materials. Artilec in press.

Griot C., 2007.- Vulnérabilité et transport de matières dangereuses : une méthode d'aide à la décision issue de l'expertise de la Sécurité Civile. Cybergeon n°361.- 32p.

Guéret C., Prins C. et Sevaux M., 2000.- Programmation linéaire : 65 problèmes d'optimisation modélisés et résolus avec Visual Xpress. Eyrolles.- 364p.

Guillaume E., 2006.- Effets du feu sur les personnes. Synthèse bibliographique. LNE.- 163p.

Harris C. and Stephens M., 1988.- A combined corner and edge detector, Alvey Vision Conference, University of Manchester: 147-151.

Hatchuel A. and Molet H., 1986.- Rational modelling in understanding and aiding human decision-making : About two case studies. European Journal of Operational Research, n°24: 178-186.

Hirst I.L., 1998.- Risk assesment A note of F-n curves, expected numbers of fatalities, and weighted indicators of risk. Journal of Hazardous Materials, n°57 , 169-175.

INERIS, 2003.- Émissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère. Seuils de toxicité aigüe du Chlore.- 2p.

INRS, 2006.- Oxyde d'éthylène. Fiche toxicologique n°70.- 8p.

International Nuclear Safety Advisory Group, 1996.- Defence in depth in nuclear safety. INSAG, n°10 - 33p.

Jourdain F., 2007.- Modélisation des transferts atmosphériques de polluants. Techniques de l'ingénieur, « innovation ».- 7p.

Kara B.Y., Erkut E. and Verter V., 2003.- Accurate calculation of hazardous materials transport risk. *Operations Research Letters*, Vol. 31, pp. 285-292.

Kervern G.Y., 1995.- *Eléments fondamentaux des Cindyniques*. Economica.- 112p ;

Kessler J. et Chambraud A., 1990.- *Météo de la France. Tous les climats localité par localité*. JC Lattès.- 391p.

Khan F.I. and Abbasi, S.A., 1999.- Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 12: 361-378.

Khan F.I. and Abbasi, S.A., 2002.- A criterion for developing credible accident scenario for risk assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 15: 467-475.

Kuncyć R., Laberge-Nadeau C., Crainic T.G. and Read J.A., 2003.- Organisation of truck-driver training for the transportation of dangerous goods in Europe and North America. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 35: 191-200.

Lacombe J.M., Vincent G., Baulig A., Kordek M.A., Fontaine F. and Tissot S., 2006.- Examen de l'utilisation du logiciel ALOHA-CAMEO en situation d'urgence. *INERIS, Direction des Risques Accidentels*.- 41p.

Lassarre S., 2001.- Analysis of progress in road safety in ten European countries. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 33: 743-751.

Laurini R., 2000.- *A Short Introduction to TeleGeoProcessing and TeleGeoMonitoring*. Proceedings of the 2nd Symposium on TeleGeoProcessing. Nice, France, May 10-12, 2000. p.1-12.

Leonelli P., Bonvicini S. and Spadoni G., 1999.- New detailed numerical procedures for calculating risk measures in hazardous materials transport. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, vol.12: 507-515.

Leonelli P., Bonvicini S. and Spadoni G., 2000.- Hazardous materials transportation: a risk-analysis-based routine methodology. *Journal of Hazardous Materials*, vol.71: 283-300.

Liu H.X. and Bin R., 2001.- Vision-based stop sign detection and recognition system for intelligent vehicles. *Transportation research record*, 11(1748): 161-166, January 2001.

Maja R., Studer L., Romanò D., Rainoldi G., Marchionni G. and Salimbeni R., 2006.- Individuazione degli itinerari Origine-Destinazione di maggior interesse per la sperimentazione. Sperimentazione di un sistema nazionale di sicurezza per il trasporto di merci pericolose – SNSTMP Politecnico di Milano- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Martin P.H., LeBoeuf E.J., Daniel E.B., Dobbins J.P. and Abkowitz M.D., 2004.- Development of a GIS-based Spill Management Information System. *Journal of Hazardous Material*, B112: 239-252.

Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 2004.- Guide technique relatif aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes accidentels des

installations classées.- 29p.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2005.- Plan de prévention des risques technologiques. Guide méthodologique.- 136p.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2006a.- Compréhension des phénomènes et modélisation : la dispersion atmosphérique.- 12p.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2006b.- Guide pour l'estimation des dommages matériels aux biens des tiers en cas d'accidents majeurs.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2006c.- Les phénomènes dangereux associés aux GPL dans les établissements de stockage hors raffineries et pétrochimie : le BLEVE.- 18p.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2006d.- Les phénomènes dangereux associés aux GPL dans les établissements de stockage hors raffineries et pétrochimie : Explosion de gaz à l'air libre (UVCE).- 22p.

Moles T.M., 1999.- Emergency Medical Services Systems and HAZMAT major incidents. Resuscitation, vol. 42: 103-116.

Mouilleau Y. et Lechaudel J.F., 1999.- Guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre. INERIS.- 166p.

Mundy D., 2002.- Local Emergency Planning Committees: Working together to increase chemical safety in our communities. Chemical Health and Safety, Vol. 9, Issue 6: 31-34.

Munier B., 1998.- Décision. Dictionnaire des mathématiques : fondements, probabilités, applications. Albin Michel.- 865p.

National Institute for Occupational and Safety and Health, 2000.- Preventing Worker Injuries and Deaths from Explosions in Industrial Ethylene Oxide Sterilization Facilities. ALERT. NIOSH, EPA, and EOSA.- 32p.

National Oceanic and Atmospheric Administration and the U.S. Environmental Protection Agency, 2007.- ALOHA : user's manual.- 195p.

Nicolet-Monnier M. and Gheorghe A.V., 1996.- Quantitative risk assessment of hazardous materials transport systems. Topics in safety, risk, reliability and quality, ETH, Kluwer Academic Publishers.- 343p.

NIOSH, 2000.- Preventing Worker Injuries and Deaths from Explosions in Industrial Ethylene Oxide Sterilization Facilities. NIOSH, EPA, EOSA Alert.- 32p.

November V., 2006.- Le risque comme objet géographique, Cahiers de géographie du Québec, 2006, vol. 50, no 141 : 289-296.

Panwhar S., Anderson M. and Pitt R., 2000.- Development of a GIS-Based Hazardous Materials Transportation Management System; a Demonstration Project. UTCA Project 99244.

Pasquill F. and Smith F.B., 1983.- Atmospheric Diffusion, 3rd edition, John Wiley and Sons, New York.- 440p.

Plane J.-M., 2000.- Méthodes de recherche-intervention en management.

L'Harmattan, Paris.- 256p.

Pomerol J.C. and Adam F., 2004.- Practical Decision Making – From the Legacy of Herbert Simon to Decision Support Systems. Actes de la Conférence Internationale IFIP TC8/WG8.3, Meredith R., Shanks G., Arnott D., Carlsson S. (Eds), Prato, Italie: 647-657.

Préfecture des Alpes-Maritimes, 1991.- Plan d'Urgence « Transport de Matières Dangereuses ». Service Interministériel de Défense et de Protection Civile, Bureau de la Protection Civile.- 85 p et annexes.

Préfecture des Alpes-Maritimes, 2006.- Plan de Secours Spécialisés Transport de Matières Dangereuses non radioactives P.S.S. – T.M.D. Direction Interministérielle de Défense et de Protection Civile, Bureau de la Protection Civile.- 69p.

Prugh R.W., 1992.- Improved F/N graph presentation and criteria. Journal of Loss Prevention in the Process Industries vol 5, No 4.

Purdy G., 1993.- Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail. Journal of Hazardous Materials, vol. 33: 229-259.

Rasse G., 2008.- Les plans de prévention des risques. La prévention des risques majeurs par la maîtrise de l'usage des sols. Lavoisier.- 61p.

Reghezza M., 2006.- Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine : la métropole parisienne face au risque de crue centennale. Thèse, Université Paris X – Nanterre.- 382p.

Romer H., Haastrup P., Petersen H.J.S., 1995.- Accidents during marine transport of dangerous goods. Distribution of fatalities. Journal of Loss Prevention in the Process Industries vol 8, No 1.

Ronza A., Vilchez J.A., Casal J., 2007.- Using transportation accident databases to investigate ignition and explosion probabilities of flammable spills. Journal of Hazardous Materials, vol. 146, Issues 1-2: 106-123.

Scenna N.J. and Santa Cruz A.S.M., 2007.- Road risk analysis due to the transportation of chlorine in Rosario city. Reliability Engineering & System safety. Vol. 90, Pages 83-90.

Serafini P., 2006.- Dynamic programming and minimum risk paths. European Journal of Operational Research. Vol. 175, pp. 224-237.

Shield S.R., 1993.- A model to predict the radiant heat transfer and blast hazards from LPG BLEVEs. AIChE Symposium Series, vol. 89.

Simon H., 1977.- The new science of management decision, Prentice Hall, New Jersey.

Suchman, E.A., 1961.- A Conceptual Analysis of the Accident Phenomenon. Social Problems: 241-253.

Tixier J., Dusserre G., Rault-Doumax S., Ollivier J. and Bourelly C., 2002.- OSIRIS: Software for the consequence evaluation of transportation of dangerous goods accidents. Environmental Modelling and Software, vol. 17: 627-637.

Tixier J., 2002.- Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants.

Journal of Loss Prevention, vol. 15: 291-303.

Tsagaris V. and Anastassopoulos V., 2005.- Fusion of visible and infrared imagery for night colour vision, Displays, Volume 26.

UNESCO, 1972.- Report of consultative meeting of experts on the statistical study of natural hazard and their consequences, Document SC/WS/500.

United Nations, 2003.- ADR - Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route.

United Nations Economic Commissions for Europe, "Dangerous goods" <http://www.unece.org/trans/danger/danger.htm>

European Commission, 2001.- White Paper, European Commission 12 September 2001: "European transport policy for 2010 : time to decide".

Zhang J., Hodgson J. and Erkut E., 2000.- Using GIS to assess the risks of hazardous materials transport in networks. European Journal of Operational Research, vol. 121: 316-329.

Zografos K.G., Vasilakis G.M. and Giannouli I.M., 2000.- Methodological framework for developing decision support system (DSS) for hazardous materials emergency response operations. Journal of Hazardous Materials, vol. 71 : 503-521.

Zografos K.G. and Androutsopoulos K.N., 2004.- A heuristic algorithm for solve hazardous materials distribution problems. European Journal of Operational Research vol. 152: 507-519.

